

22976-1

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

**DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS GEOGRÁFICO REGIONAL
Y GEOGRAFÍA FÍSICA**

**ANÁLISIS INTEGRADO DE PAISAJES EN EL
OCCIDENTE
DE LA CUENCA DE MÉXICO**

**(LA VERTIENTE ORIENTAL DE LA SIERRA DE LAS CRUCES,
MONTE ALTO Y MONTE BAJO)**



53-37552-X

22976

I

Tesis doctoral que presenta
D. ARTURO GARCÍA ROMERO bajo la
dirección del Dr. **D. JULIO MUÑOZ JIMÉNEZ**

Octubre de 1998.



SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN

ÍNDICE

I. Introducción: Justificación del estudio y descripción metodológica.....	1
--	---

PARTE PRIMERA: EL ANÁLISIS SECTORIAL DE LOS COMPONENTES DEL PAISAJE.

1. Presentación del área de estudio	6
1.1. Ubicación en el contexto regional: El Cinturón Volcánico Transmexicano y la cuenca de México.	8
1.2. Descripción topográfica de la vertiente estudiada.....	10
1.2.1. El sector superior de la vertiente y las cumbres montañosas	11
1.2.2. El sector inferior de la vertiente: la rampa de piedemonte	12
1.2.3. La altimetría y las pendientes	12
1.3. Conclusiones	15
2. Las morfoestructuras	17
2.1. La historia geológica de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo	17
2.1.1. Las etapas de formación de la sierra	18
- Primera etapa: formación del basamento volcánico de la sierra en el Mio-Plioceno	18
- Segunda etapa: formación de la sierra actual en el Plio-Cuaternario.	19
2.2. Las estructuras geológicas	22
2.2.1. El complejo volcánico Catedral	22
2.2.2. El complejo volcánico Las Cruces	23
2.2.3. El complejo volcánico San Miguel.....	23
2.2.4. El piedemonte volcánico.....	24
2.2.5. El piedemonte detritico	26
2.2.6. Las estructuras antiguas exhumadas de la base del piedemonte ..	28
2.3. Los materiales aflorantes.....	28
2.3.1. Los materiales de las antiguas estructuras exhumadas	28
2.3.2. Los materiales de los complejos volcánicos de la vertiente superior y las cumbres	29
2.3.3. Los materiales del piedemonte volcánico	30
- Depósitos de flujo piroclástico y lahar	31
- Tobas, cenizas y pómez	32
- Coladas de lava e intrusivos	33
2.3.4. los materiales del piedemonte acumulativo	33
2.4. La tectónica	34
2.4.1. Las fracturas de rumbo SE-NW.....	35
2.4.2. Las fracturas de rumbo SW-NE.....	35
2.4.3. Las fracturas de rumbo E-W.....	37
2.4.4. Los focos de actividad tectónica en el presente	37
2.5. Los compartimentos morfoestructurales del territorio.....	39
2.5.1. El macizo montañoso Catedral	40

2.5.2. El macizo montañoso Las Cruces	41
2.5.3. El macizo montañoso San Miguel.....	42
2.5.4. La rampa Norte	44
2.5.5. La rampa Centro-Norte	45
2.5.6. La Rampa Centro-Sur.....	45
2.5.7. La rampa Sur	46
2.5.8. Las elevaciones menores	47
2.6. Conclusiones	47
3. El Clima	51
3.1. Dinámica de la atmósfera	51
3.1.1. Los factores relacionados con la localización y la organización topográfica del área	51
3.1.1.1. La influencia de la latitud, la altitud y la continentalidad.....	51
3.1.1.2. La influencia de la organización morfoestructural de la vertiente.....	52
3.1.2. El tiempo atmosférico.....	54
3.1.2.1. El tiempo húmedo y cálido del verano.....	54
- La aproximación de la Zona Intertropical de Convergencia.....	55
- El dominio de los vientos húmedos del noreste (Alisios) ..	55
- Las perturbaciones ciclónicas estivales.....	56
- Los flujos orográficos: los vientos anabáticos	57
3.1.2.2. El tiempo seco y frío (fresco) del invierno	57
- El desplazamiento hacia el sur de la Zona Subtropical de Alta Presión.....	57
- El dominio de los vientos secos del norte y noroeste	58
- La influencia de los centros de baja presión extratropicales.....	58
- Las corrientes en chorro.....	59
- Los flujos orográficos: los vientos catabáticos.....	59
3.2. Las fuentes de información meteorológica: las estaciones de observación y sus datos	60
3.2.1. La red de observación termo-pluviométrica	60
3.2.2. Las series de datos termométricos y pluviométricos	62
3.3. Las temperaturas	63
3.3.1. El gradiente térmico medio y la distribución de las temperaturas en la vertiente.....	63
3.3.2. El ciclo termométrico anual	68
3.4. Las precipitaciones..	71
3.4.1. El gradiente pluviométrico y la distribución de los totales pluviométricos anuales	71
3.4.2. El ciclo pluviométrico anual	76
3.5. Los tipos climáticos y su distribución.....	78
3.5.1. El clima frío y muy húmedo de alta montaña	79
3.5.2. Los climas de la rampa de enlace	84
3.5.2.1. El clima semifrío y húmedo del sector alto de la rampa de enlace	84

3.5.2.2. El clima fresco y semihúmedo del sector medio de la rampa de enlace	87
3.5.2.3. El clima templado y subhúmedo del sector inferior de la rampa de enlace	90
3.6. Conclusiones	92
4. La hidrología	95
4.1. El balance hídrico y la distribución de la esorrentía.....	95
4.1.1. La franja de esorrentía teórica baja.....	96
4.1.2. La franja de esorrentía teórica media-baja	98
4.1.3. La franja de esorrentía teórica media-alta	99
4.1.4. La franja de esorrentía teórica media-alta	99
4.1.5. La franja de esorrentía teórica muy alta	100
4.2. El ciclo anual del balance hídrico.....	102
4.2.1. La evapotranspiración real	102
4.2.2. Los excedentes y déficits de agua reales	103
4.3. La red de drenaje.....	118
4.3.1. La influencia de la litología y la tectónica en el drenaje de las aguas de esorrentía	119
4.3.2. La red de drenaje superficial.....	121
4.3.2.1. Las grandes redes hidrográficas	122
4.3.2.2. Las redes hidrográficas de dimensiones medias	124
4.3.3. El drenaje subterráneo	125
4.3.4. Las alteraciones naturales y antrópicas del sistema de drenaje ...	127
4.4. El caudal y el régimen de los ríos	128
4.4.1. Las estaciones de aforo	128
4.4.2. El caudal medio	130
4.4.3. El ciclo hidrográfico anual y el régimen de los ríos.....	132
4.5. Conclusiones	137
5. Geomorfología	139
5.1. La influencia de las morfoestructuras en el modelado externo del relieve ..	139
5.1.1. La altura, la forma y la orientación de la vertiente.....	141
5.1.2. la litología	142
5.1.3. La red de fracturación	143
5.2. La influencia del clima en el modelado.....	143
5.3. Las herencias del modelado del Pleistoceno	144
5.3.1. El modelado durante los últimos períodos fríos del Pleistoceno superior	145
5.3.2. El modelado durante los últimos períodos de clima semiárido del Pleistoceno superior	146
5.4. El modelado externo en las grandes unidades del relieve.....	148
5.4.1. El modelado en los macizos montañosos	148
- Los domos y conos volcánicos	149
- Las planicies de material piroclástico	150
- Las superficies modeladas sobre derrames lavicos.....	151
- Los valles erosivos	153
5.4.2. El marco general del modelado en los piedemontes superior e inferior ..	155
5.4.3. El modelado en el piedemonte superior	156

5.4.3.1. El modelado en el piedemonte superior de la rampa Norte: los valles disimétricos acarcavados	158
5.4.3.2. El modelado en el piedemonte superior de la rampa Sur: los valles en “V” y las “lomas” interfluviales.....	160
5.4.3.3. El modelado en el piedemonte superior de las rampas centrales: los valles encajados disimétricos	164
5.4.4. El modelado en el piedemonte inferior	166
5.4.5. El modelado en los relieves montañosos menores.....	168
5.5. El rol de las actividades antrópicas en el modelado del piedemonte	169
5.6. Conclusiones	170
6. La organización antrópica.....	173
6.1. Las fuentes de información sobre población, poblamiento y usos	175
6.2. La distribución actual de la población	176
6.2.1. El área urbanizada	177
6.2.2. Los núcleos menores: pueblos y fraccionamientos residenciales. ..	177
6.2.3. Las áreas de poblamiento disperso o muy disperso	179
6.3. La evolución reciente del poblamiento.....	180
6.3.1. La expansión urbana de 1940 a 1960.....	181
6.3.2. La expansión urbana de 1960 a 1980.....	181
6.3.3. La expansión urbana de 1980 a 1995.....	184
6.3.4. La influencia de los polos de atracción financiera, comercial y de servicios en la evolución reciente del poblamiento.....	184
6.3.5. La influencia de las vías de comunicación y de las infraestructuras en la evolución reciente del poblamiento	185
6.4. Los usos del suelo.....	187
6.4.1. Los usos urbanos e industriales.....	187
6.4.2. Los usos agrícolas	188
6.4.3. La actividad ganadera.....	191
6.4.4. El aprovechamiento de los bosques	193
6.4.4.1. La explotación forestal	193
6.4.4.2. El uso recreativo y la protección legal de los bosques ..	196
6.4.5. La actividad minera y extractiva	197
6.5. Los sistemas de uso y ocupación del suelo.....	198
6.5.1. Las áreas densamente ocupadas e inmersas física y funcionalmente en el área urbana de la ciudad de México	199
6.5.2. Las áreas de moderada ocupación y aprovechamiento agropecuario	200
6.5.3. Las áreas de escasa ocupación y aprovechamiento agropecuario y forestal	201
6.5.4. Las áreas de aprovechamiento forestal	202
6.6. Conclusiones	203
7. La vegetación	206
7.1 El <i>stock</i> florístico.....	206
7.2. Los factores de la composición y distribución de la cubierta vegetal	216
7.2.1. La influencia de la ubicación del territorio	216
7.2.2. Las influencias morfoestructurales, climáticas, hidrológicas y geomorfológicas... ..	217
7.2.3. Las influencias antrópicas y su desarrollo histórico.....	219

7.2.3.1. La etapa precolonial de escaso antropismo.....	219
7.2.3.2. La etapa de moderado antropismo: desde la conquista española hasta el primer tercio del siglo XX.....	220
7.2.3.3. La etapa de intenso antropismo: la expansión urbana a partir de 1940.....	221
7.2.3.4. La vegetación inducida e introducida	223
7.3. Las formaciones vegetales	224
7.3.1. El bosque de <i>Pinus Hartwegii</i>	225
7.3.2. El bosque de oyamel (<i>Abies religiosa</i>)	226
7.3.3. Los bosques mixtos de oyamel y pinos.....	227
7.3.4. Los bosques de encinos	228
7.3.5. Los bosques mixtos de oyamel, pinos y encinos.....	229
7.3.6. El bosque mixto de oyamel, encinos y cuachichie	230
7.3.7. El bosque de aile (<i>Alnus spp.</i>)	230
7.3.8. Los bosques de coníferas derepoblación	231
7.3.9. Los bosques introducidos de <i>Eucaliptos</i>	232
7.3.10. Las formaciones de matorral	233
7.3.11. Las formaciones de pastizal (zacatales y zacatonales).....	234
7.3.12. Los cultivos	235
7.4. Los pisos de vegetación	236
7.4.1. El piso pedemontano	236
7.4.2. El piso de transición.....	238
7.4.3. El piso montano	240
7.4.4. El piso cacuminal	242
7.5. Conclusiones	243
8. Los suelos	245
8.1. Las influencias del medio en la edafogénesis: los factores formativos del suelo	246
8.1.1. La influencia del sustrato litológico	246
8.1.2. La influencia de las condiciones climáticas.....	248
8.1.3. La influencia de las condiciones geomorfológicas.....	249
8.1.4. La influencia de la vegetación	250
8.1.5. La influencia de las acciones antrópicas	251
8.2. Las unidades de suelo	253
8.2.1. Los suelos formados sobre cenizas y tobas volcánicas	253
8.2.1.1. El andosol úmbrico.....	253
8.2.1.2. El andosol háplico	254
8.2.1.3. El cambisol crómico	255
8.2.2. Los suelos delgados poco evolucionados	255
8.2.2.1. El leptosol lítico	256
8.2.2.2. El regosol eútrico.....	256
8.2.2.3. El fluvisol eútrico	257
8.2.2.4. El antrosol úrbico	258
8.2.3. Los suelos profundos muy evolucionados	258
8.2.3.1. El luvisol crómico	258
8.2.3.2. El vertisol eútrico.....	259
8.3. Las agrupaciones de suelo y su distribución en el territorio.....	261

8.3.1. Los suelos de los macizos montañosos, desarrollados sobre capas delgadas de cenizas volcánicas o sobre el roquedo compacto de andesita ..	262
8.3.1.1. La agrupación del andosol úmbrico ..	262
8.3.1.2. La agrupación del andosol háplico ..	263
8.3.1.3. La agrupación del leptosol lítico ..	265
8.3.2. Los suelos de las rampas centrales y Sur, desarrollados sobre piroclastos y materiales detríticos de textura gruesa ..	265
8.3.2.1. La agrupación del cambisol crómico ..	266
8.3.2.2. La agrupación del luvisol crómico ..	267
8.3.2.3. La agrupación del regosol eútrico ..	268
8.3.3. Los suelos de la rampa Norte, desarrollados sobre piroclastos y materiales detríticos de textura fina ..	271
8.3.3.1. La agrupación del luvisol crómico ..	271
8.3.3.2. La agrupación del vertisol eútrico ..	273
8.3.4. Los suelos de la sierra del Tigre y del cerro Atlaco, desarrollados sobre piroclastos y rocas compactas alteradas ..	275
8.3.4.1. La agrupación del regosol calcárico ..	275
8.4 Conclusiones ..	277

SEGUNDA PARTE: EL ANÁLISIS INTEGRADO DEL PAISAJE.

9. La estructura taxonómico-corológica del área y el estado general de los geosistemas ..	281
9.1 El fundamento teórico-metodológico para la taxonomía de áreas ..	282
9.2. El encuadre del territorio y la determinación de su nivel taxonómico-corológico ..	286
9.2.1. La Zona Intertropical ..	286
9.2.2. El Dominio del Cinturón Volcánico Transmexicano ..	287
9.2.3. La Región Natural de las Sierras Interiores del C.V.T. ..	288
9.3. Los componentes básicos de la organización del territorio: los geosistemas ..	290
9.3.1. Los geosistemas de la Subregión Natural de las Montañas ..	292
9.3.1.1. El geosistema I, muy frío y húmedo de las cumbres montañosas de Catedral y San Miguel, con pinares de alta montaña y aprovechamiento silvo-pastoril ..	294
9.3.1.2. El geosistema II, frío y muy húmedo de las laderas altas de montaña de Catedral, Las Cruces y San Miguel, con bosque mixto de oyamel y pino de alta montaña y aprovechamiento silvícola ..	295
9.3.1.3. El geosistema III, frío y muy húmedo de las laderas medias de montaña de Catedral, Las Cruces y San Miguel, con bosques mixtos de oyamel y pinos, y aprovechamiento silvícola ..	296
9.3.1.4. El geosistema IV, frío y muy húmedo de las cumbres montañosas de Las Cruces y laderas bajas de montaña de Catedral y San Miguel, con bosques mixtos de aile, oyamel, pinos y encinos, y aprovechamiento agro-silvo-pastoril ..	297
9.3.1.5. El geosistema V, frío y muy húmedo de las laderas bajas de montaña de San Miguel, con bosques mixtos de	

oyamel, pinos, encinos y cuachichie, aprovechamiento agrícola, recreativo y ocupación habitacional concentrada en pueblos	298
9.3.1.6. El geosistema VI, frío y muy húmedo de las laderas bajas de montaña en Las Cruces y en el valle del río La Magdalena, con encinares, con aprovechamiento agrícola y ocupación habitacional concentrada en pueblos	299
9.3.2. Los geosistemas de la Subregión Natural de la Rampa de Enlace y de las Elevaciones Menores.....	300
9.3.2.1. El geosistema VII, semifrío y húmedo de la parte superior de la rampa Norte y de los valles altos de Huixquilucan, con bosques mixtos de oyamel, pinos y encinos, aprovechamiento agro-silvo-pastoril y ocupación habitacional concentrada en pueblos.....	302
9.3.2.2. El geosistema VIII, semifrío y húmedo de la parte superior de las rampas centrales, con encinares, aprovechamiento agro-silvícola y ocupación habitacional concentrada en pueblos.....	303
9.3.2.3. El geosistema IX, fresco y semihúmedo de la parte media de la rampa Norte, con bosque mixto de oyamel, pinos y encinos, aprovechamiento agro-silvo-pastoril y ocupación concentrada en pueblos y fraccionamientos.....	304
9.3.2.4. El geosistema X, fresco y semihúmedo de la parte inferior de las rampas Norte y Centro-Sur, con encinares, abandono del aprovechamiento agro-silvo-pastoril y ocupación habitacional dispersa	305
9.3.2.5. El geosistema XI, templado y subhúmedo de la parte inferior de la rampa Centro-Norte, de la sierra del Tigre y del "cerro" Totoltepec, con encinares bajos, abandono del aprovechamiento agro-silvo-pastoril y ocupación habitacional dispersa	306
9.3.2.6. El geosistema XII, semifrío y húmedo de la rampa Sur, con bosque mixto de oyamel, pinos y encinos, abandono del aprovechamiento agro-silvo-pastoril y ocupación dispersa y concentrada en pueblos.....	307
9.4. La distribución espacial de los geosistemas	309
9.5. La estabilidad global y el grado de las perturbaciones antrópicas de los geosistemas	311
10. La organización interna y la dinámica de los geosistemas.....	313
10.1. El método del análisis de los paisajes	313
10.2. Aplicación del análisis integrado de paisaje a los geosistemas del área de estudio	319
10.2.1. El geosistema I	319
1. La geofacies del bosque abierto de pino de alta montaña (<i>Pinus (Hartwegii)</i>) sobre andosol úmbrico en cimas y laderas altas de volcanes y domos recubiertos de cenizas.....	322
2. La geofacies del pastizal de zacate de <i>Festuca amplissima</i> y zacatón de <i>Muhlenbergia macroura</i> sobre andosol úmbrico en llanos cineríticos saturados	323

10.2.1.1. La serie del pinar de alta montaña	325
10.2.2. El geosistema II	326
II1. La geofacies del bosque de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) sobre andosoles úmbricos en laderas resguardadas	329
II2. La geofacies del bosque mixto de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y pino de alta montaña (<i>Pinus Hartwegii</i>) con sotobosque de senecios (<i>Senecio barba-Johannis</i> y <i>S. roldana</i>) y pegarropa (<i>Acaena elongata</i>) sobre andosol úmbrico en laderas expuestas..	331
II3. La geofacies del matorral húmedo de escobilla (<i>Baccharis conferta</i>) o de jarilla (<i>Senecio salignus</i>) y eupatorium (<i>Eupatorium sp.</i>) sobre andosol háplico en laderas cineríticas expuestas.....	334
II4. La geofacies del zacatonal de <i>Muhlenbergia macroura</i> con pino de alta montaña (<i>Pinus Hartwegii</i>) y jarilla (<i>Senecio salignus</i>) sobre andosol háplico en laderas cineríticas expuestas .	338
II5. La geofacies del zacatal de <i>Festuca amplissima</i> con pino de alta montaña (<i>Pinus Hartwegii</i>) sobre andosol háplico en laderas cineríticas expuestas	340
II6. La geofacies de las superficies cultivadas sobre andosol háplico en laderas cineríticas expuestas.....	341
II7. La geofacies de los enclaves perturbados y sin recubrimiento vegetal de los entornos a los ejes de infraestructura	343
10.2.2.1. La serie del abetal de las laderas altas de montaña de Catedral, Las Cruces y San Miguel	343
10.2.3. El geosistema III	345
III1. La geofacies del bosque de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) con sotobosque de escobilla (<i>Baccharis conferta</i>) y senecio (<i>Senecio barba-Johannis</i>) sobre secuencias de andosol úmbrico y leptosol lítico en laderas internas de grandes valles y otros enclaves resguardados	347
III2. La geofacies del bosque de pinos (<i>Pinus Leiophylla</i> y <i>P. Montezumae</i>) y oyamel (<i>Abies religiosa</i>) con sotobosque de senecio (<i>Senecio roldana</i> y <i>S. barba-Johannis</i>) sobre andosol úmbrico en vertientes y laderas expuestas.....	349
III3. La geofacies de los bosques alterados de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y pinos (<i>Pinus spp.</i>) con sotobosque de senecio (<i>Senecio barba-Johannis</i>) y escobilla (<i>Baccharis conferta</i>) sobre secuencias de andosol úmbrico y leptosol lítico en vertientes y laderas de valle	352
III4. La geofacies del matorral de escobilla (<i>Baccharis conferta</i>) y garambuyo (<i>Arctostaphylos arguta</i>) sobre andosol háplico en vertientes cineríticas expuestas	354
III5. La geofacies del zacatonal de <i>Deschampsia pringlei</i> con escobilla (<i>Baccharis conferta</i>) sobre andosol háplico en vertientes cineríticas expuestas	357
III6. La geofacies de las superficies de cultivo sobre andosol háplico en vertientes cineríticas compuestas	358

III7. La geofacies de las superficies carentes de recubrimiento vegetal sobre vertientes y laderas muy alteradas en los entornos a las líneas de infraestructura y centros de recreo ..	358
10.2.3.1. La serie del abetal de las laderas medias de Catedral, Las Cruces y San Miguel ..	359
10.2.4. El geosistema IV ..	360
IV1. La geofacies del bosque de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) con sotobosque de senecios (<i>Senecio barba-Johannis</i> y <i>S. roldana</i>) y cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>) sobre andosol úmbrico en cimas, vertientes y laderas de valle ..	363
IV2. La geofacies del bosque mixto de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>), senecios (<i>Senecio barba-Johannis</i> y <i>S. roldana</i>) y eupatorium (<i>Eupatorium sp.</i>) sobre andosol úmbrico en cimas, vertientes y laderas de valle ..	364
IV3. La geofacies del bosque mixto de pinos (<i>Pinus spp.</i>) y encinos (<i>Quercus spp.</i>) y aile (<i>Alnus firmifolia</i>) sobre andosol úmbrico en cimas, vertientes y laderas de valle ..	368
IV4. La geofacies del bosque de aile (<i>Alnus firmifolia</i>) sobre andosol umbrico en cimas recubiertas de cenizas ..	372
V5. La geofacies del bosque de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de senecio (<i>Senecio barba-Johannis</i>) sobre andosol úmbrico en vertientes y laderas de valle ..	373
IV6. La geofacies del matorral húmedo de jarilla (<i>Senecio salignus</i>), escobilla (<i>Baccharis conferta</i>) y eupatorium (<i>Eupatorium sp.</i>) sobre andosol háplico o leptosol lítico en comas, vertientes y laderas de valle ..	375
IV7. La geofacies del matorral de tepozán (<i>Buddleja americana</i>) con jarilla (<i>Senecio salignus</i>) e hilo (<i>Eupatorium glabratum</i>) sobre leptosol lítico en cimas, vertientes y laderas perturbadas... ..	378
IV8. Las geofacies del zacatonal de <i>Muhlenbergia macroura</i> con zacate (<i>Festuca amplissima</i>), <i>Potentilla candicans</i> , y oyamel (<i>Abies religiosa</i>) sobre andosol úmbrico en superficies de relleno cinerítico o sobre fluvisol eutrigo en superficies aluviales ..	379
IV9. La geofacies del zacatal de <i>Festuca sp.</i> con <i>Potentilla candicans</i> , Zacatón (<i>Muhlenbergia macroura</i>) y escobilla (<i>Baccharis conferta</i>), sobre andosol háplico o leptosol lítico en cimas, vertientes y laderas de valle.....	382
IV10. La geofacies de las superficies cultivadas sobre andosol háplico en laderas cineríticas expuestas.....	383
IV11. La geofacies de los enclaves perturbados y sin recubrimiento vegetal de los entornos de los pueblos y ejes de infraestructura ..	383
10.2.4.1. La serie del abetal de las cumbres de Las Cruces y laderas bajas de Catedral y San Miguel.....	384
10.2.5. El geosistema V ..	386
V1. La geofacies del bosque mesófilo de cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>) con oyamel (<i>Abies religiosa</i>), pinos (<i>Pinus spp.</i>) y	

encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de senecio (<i>Senecio barba-Johannis</i>) sobre andosol úmbrico en laderas resguardadas del curso medio de los valles y barrancos.....	390
V2. La geofacies del bosque mesófilo de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>) con sotobosque de senecios (<i>Senecio spp.</i>), capulincillo (<i>Ribes affine</i>) y cuachichie, sobre andosol úmbrico en laderas resguardadas del curso alto de los valles y barrancos	393
V3. La geofacies del bosque mixto de oyamel (<i>Abies religiosa</i>), pino lacio (<i>Pinus pseudostrobus</i>) y encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de senecio (<i>Senecio barba-Johannis</i>) y cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>), sobre andosol úmbrico en laderas intervenidas del curso bajo de los valles y barrancos.....	395
V4. La geofacies del bosque de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) con madroño (<i>Arbutus xalapensis</i>) y sotobosque de senecios (<i>Senecio spp.</i>) y pegarropa (<i>Acaena elongata</i>), sobre andosol úmbrico en laderas resguardadas en el interior de valles y barrancos	398
V5. La geofacies del bosque joven de repoblación con oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y/o pinos (<i>Pinus spp.</i>) sobre andosol úmbrico en divisorias y valles.....	399
V6. La geofacies del bosque maduro de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y/o pinos (<i>Pinus spp.</i>) de repoblación sobre andosol úmbrico en divisorias, valles y barrancos.....	402
V7. La geofacies del matorral de tepozán (<i>Buddleja americana</i>) con jarilla (<i>Senecio salignus</i>) e hilo (<i>Eupatorium glabratum</i>), sobre leptosol lítico en vertientes y laderas perturbadas	403
V8. La geofacies de las superficies cultivadas sobre andosol háplico en laderas cineríticas expuestas.....	403
V9. La geofacies de los enclaves perturbados y sin recubrimiento vegetal por fenómenos de gravedad o por acciones antrópicas en los entornos a los ejes de infraestructura, poblados y tierras de labor abandonadas	404
10.2.5.1. La serie del bosque mesófilo de cuachichie de las laderas bajas del macizo san Miguel	404
10.2.6. El geosistema VI	406
VI1. La geofacies del bosque mixto de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque abierto de senecio barba de San Juan (<i>Senecio barba Johannis</i>) sobre andosol úmbrico en vertientes, laderas de valle y barrancos escasamente intervenidos	409
VI2. La geofacies del bosque mixto y alterado de encinos (<i>Quercus spp.</i>) y cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>) con sotobosque cerrado de eupatorium (<i>Eupatorium spp.</i>) y <i>Cunila lythrifolia</i> sobre andosol úmbrico en vertientes, laderas de valle y barrancos intervenidos.....	413
VI3. La geofacies del bosque bajo y muy alterado d encinos (<i>Quercus laeta</i> y <i>Q. laurina</i>) con madroño (<i>Arbutus xalapensis</i>) sobre secuenciasde andosol háplico y cambisol crómico en	

vertientes, laderas de valle y barrancos intervenidos con fuerte desequilibrio estructural	414
VI4. La geofacies del bosque de repoblación con ciprés (<i>Cupressus Lindlyi</i>) con sotobosque de tepozán (<i>Buddleja americana</i>) sobre luvisol crómico en las laderas bajas del valle del río Tlalnepantla	416
VI5. La geofacies del bosque muy alterado de encinos (<i>Quercus laeta</i> y/o <i>Q. laurina</i>) con ciprés (<i>Cupressus Lindlyi</i>) de repoblación sobre secuencias de andosol úmblico y háplico en laderas de valles intervenidos con fuerte desequilibrio estructural ..	419
VI6. La geofacies de las superficies de cultivo sobre andosol háplico en laderas cineríticas del interior de cabeceras, valles y barrancos ...	420
VI7. La geofacies de las superficies desnudas por fenómenos naturales o por acciones antrópicas en los entornos de los pueblos, ejes de infraestructura y centros de recreo	421
10.2.6.1. La serie del encinar de montaña	421
10.2.7. El geosistema VII	423
VII1. La geofacies del bosque mixto de encinos (<i>Quercus crassipes</i> y <i>Quercus rugosa</i>) y pino chino (<i>Pinus Leiophylla</i>) sobre secuencias de andosol úmblico y vertisol cromico en superficies divisorias y laderas altas de los valles.....	426
VII2. La geofacies del bosque mixto de oyamel (<i>Abies religiosa</i>), encinos (<i>Quercus spp.</i>) y cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>), con sotobosque de escobilla (<i>Baccharis conferta</i>) sobre fluvisol eutrico en enclaves resguardados de los fondos de valle y barranco	429
VII3. La geofacies del bosque de encino manzanillo (<i>Quercus lanceolata</i>) sobre andosol úmblico en la parte baja de las laderas cortas de los valles y otros enclaves resguardados	431
VII4. La geofacies del bosque de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>) y/o capulín (<i>Prunus capuli</i>) con sotobosque de cuachichie, sobre secuencias de andosol úmblico y vertisol eútrico en las divisorias y parte alta de las laderas cortas de umbría	432
VII5. La geofacies del bosque muy alterado de encinos (<i>Quercus spp.</i>), tepozán (<i>Buddleja americana</i>) y capulín (<i>Prunus capuli</i>), con sotobosque de margalagua (<i>Montanoa frutescens</i>) y eupatorium (<i>Eupatorium sp.</i>), sobre secuencias de andosol y vertisol crómico en laderas internas de brrancos intervenidos	436
VII6. La geofacies del bosque de tepozán (<i>Buddleja americana</i>) con cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>) sobre antrosol úrbico en laderas internas de barrancos intervenidos con fuerte desequilibrio estructural	438
VII7. La geofacies del zacatal de <i>Festuca sp.</i> con pino chino (<i>Pinus Leiophylla</i>) y maguey (<i>Agave ferox</i>) de repoblación sobre secuencias de vertisol crómico y antrosol úrbico en laderas	

internas de barrancos intervenidos con fuerte desequilibrio estructural ..	441
VII ₈ La geofacies de las superficies de cultivo sobre secuencias de vertisol crómico, andosol háplico y fluvisol eútrico en divisorias, superficies aluviales y laderas tendidas de los valles..	442
VII ₉ . La geofacies de las superficies perturbadas y sin recubrimiento vegetal afectadas por acarcavamiento y otros fenómenos de gravedad o por acciones antrópicas en los entornos a los pueblos y ejes de infraestructura ..	443
10.2.7.1. La serie del bosque mixto de pino-encino en la parte superior de la rampa Norte y valles altos de Huixquilucan.....	444
10.2.8. El geosistema VIII ..	445
VIII ₁ . La geofacies del bosque de encino laurel (<i>Quercus crassipes</i>) con garambuyo (<i>Arctostaphylos arguta</i>) y sotobosque de madroño (<i>Arbutus xalapensis</i>), senecios (<i>Senecio spp.</i>), cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>) y tepozán (<i>Buddleja americana</i>), sobre secuencias de andosol úmbrico y cambisol crómico en superficies divisorias y laderas de valles profundos..	448
VIII ₂ . La geofacies del bosque muy alterado y bajo de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con capulín (<i>Prunus capuli</i>) y sotobosque de hilo (<i>Eupatorium glabratum</i>) sobre secuencias de regosol eútrico en enclaves resguardados de los fondos de valles y barrancos intervenidos ..	450
VIII ₃ . La geofacies del bosque muy alterado de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de romerillo (<i>Verbesina virgata</i>) sobre secuencias de andosol háplico y cambisol crómico en la parte alta de las laderas cortas de los valles y barrancos intervenidos ..	451
VIII ₄ . La geofacies del matorral de romerillo (<i>Verbesina virgata</i>), sobre secuencias de antrosol úrbico en las superficies divisorias y laderas tendidas de los valles intervenidos con fuerte desequilibrio estructural ..	454
VIII ₅ . La geofacies de las superficies de cultivo sobre secuencias de cambisol crómico, andosol háplico y fluvisol eútrico en divisorias, superficies aluviales y laderas tendidas de los valles	455
VIII ₆ . La geofacies de las superficies perturbadas y sin recubrimiento vegetal por acarcavamiento y fenómenos de gravedad, así como por acciones antrópicas en los entornos a los pueblos y ejes de infraestructura ..	456
10.2.8.1. La serie del encinar de la parte superior de las rampas central ..	456
10.2.9.1. El geosistema IX.....	458
IX ₁ . La geofacies del bosque mixto de encinos (<i>Quercus crassipes</i> y <i>Q. rugosa</i>) con pino chino(<i>Pinus Leiophylla</i>) y madroño (<i>Arbutus xalapensis</i>) y sotobosque de <i>Viburnum stellatum</i> sobre secuencias de andosol úmbrico y fuvisol eútrico	

en barrancos y parte baja de las laderas altas de úmbría y otros enclaves resguardados	460
IX2. La geofacies del bosque de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con tejocote (<i>Crataegus mexicana</i>) sobre andosol úmbrico en la parte baja de las laderas cortas de umbría y otros enclaves resguardados	462
IX3. La geofacies del bosque de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de eupatorium (<i>Eupatorium spp.</i>), sobre secuencias de andosol úmbrico y luvisol crómico en franjas divisorias y parte alta de las laderas cortas de umbría	464
IX4. La geofacies del bosque de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con pino chino (<i>Pinus Leiophylla</i>) y sotobosque de hilo (<i>Eupatorium glabratum</i>) sobre luvisol crómico en laderas tendidas de solana intervenidas y con fuerte desequilibrio estructural	467
IX5. La geofacies del matorral de hilo (<i>Eupatorium glabratum</i>) con encino tezahuatl (<i>Quercus mexicana</i>), pino chino (<i>Pinus Leiophylla</i>), madroño (<i>Arbutus xalapensis</i>) y nopal (<i>Opuntia sp.</i>) sobre secuencias de andosol háplico en franjas divisorias....	469
IX6. La geofacies del zacatal de <i>Setaria geniculata</i> con verónica (<i>Veronica peregrina</i>) sobre secuencias de andosol háplico y luvisol crómico en las franjas divisorias y laderas tendidas de solana	470
IX7. La geofacies de las superficies de cultivo sobre secuencias de luvisol crómico, andosol háplico y fluvisol eútrico en divisorias, laderas tendidas de solana y superficies aluviales	472
IX8. La geofacies de las superficies perturbadas y sin recubrimiento vegetal afectadas por acarcavamiento y otros fenómenos de gravedad o por acciones antrópicas en los entornos a los pueblos rurales y ejes de infraestructura.....	473
10.2.9.1. La serie del encinar con pino chino de la parte media de la rampa Norte	473
10.2.10. El geosistema X	475
X1. La geofacies del bosque alterado de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de eupatorium (<i>Eupatorium spp.</i>), sobre secuencias de andosol úmbrico y regosol eútrico en laderas de valles y barrancos intervenidos	478
X2. La geofacies del bosque muy alterado de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de eupatorium (<i>Eupatorium spp.</i>), tepozán (<i>Buddleja cordata</i>) y escobilla (<i>Baccharis sordescens</i>), sobre secuencias de andosol úmbrico, regosol áutrigo y antrosol úrbico en laderas de valles y barrancos muy intervenidos y con fuerte desequilibrio estructural	480
X3. La geofacies del zacatonal de <i>Muhlenbergia robusta</i> con encinos (<i>Quercus spp.</i>), romerillo (<i>Verbesina virgata</i>) y maguey (<i>Agave ferox</i>), sobre secuencias de andosol háplico, leptosol lítico y regosos eútrico en franjas divisorias y laderas altas de valle	481

X4. La geofacies de las superficies de cultivo sobre secuencias de luvisol crómico, andosol háplico y fluvisol eútrico en divisorias, laderas tendidas de solana y superficies aluviales	484
X5. La geofacies de las superficies acarcavadas y otros enclaves perturbados y sin recubrimiento vegetal de los entornos a los pequeños núcleos de población dispersa y ejes de infraestructura ..	485
10.2.10.1. La serie del encinar de la parte inferior de las rampas Norte y Centro-Sur	485
10.2.11. El geosistema XI	487
XI1. La geofacies del bosque alterado de encinos subhúmedos (<i>Quercus Hartwegii</i> y <i>Q. centralis</i>) con sotobosque de eupatorium (<i>Eupatorium sp.</i>), <i>Muhlenbergia robusta</i> y <i>Bouteloua sp.</i> sobre secuencias de regosol eútrico y cambisol crómico en enclaves resguardados de las laderas cortas de valles y barrancos intervenidos	490
XI2. La geofacies del bosque muy alterado de encino blanco (<i>Q. texcocana</i>) con nopal (<i>Opuntia sp.</i>) sobre regosoles en enclaves expuestos de las laderas cortas de valles y barrancos intervenidos y con fuerte desequilibrio estructural	493
XI3. La geofacies del bosque muy alterado de pímul (<i>Schinus molle</i>) de repoblación con nopal (<i>Opuntia sp.</i>) y sotobosque de eupatorium (<i>Eupatorium petiolare</i>) y zuapatli (<i>Montanoa tomentosa</i>), sobre secuencias de regosoles y litosoles en vertientes, laderas de valle y barrancos intervenidos y con fuerte desequilibrio estructural	494
XI4. La geofacies del zacatal de <i>Festuca sp.</i> y <i>Deschampsia pringlei</i> con una de gato (<i>Mimosa acanthocarpa</i>) sobre secuencias de de andosol háplico, leptosol lítico y regosoles en franjas divisorias y laderas altas de valle	496
XI5. La geofacies de las superficies de cultivo sobre secuencias de andosol háplico y fluvisol eútrico en divisorias, laderas tendidas de solana y superficies aluviales	498
XI6. La geofacies de las superficies perturbadas y sin recubrimiento vegetal afectadas por abarrancamiento y otros fenómenos de gravedad, o por acciones antrópicas en los entornos a los ejes de infraestructura	499
10.2.11.1. La serie del encinar subhúmedo de la parte inferior de la rampa Centro-Norte, de la sierra del Tigre y del “cerro” Totoltepec	499
10.2.12. El geosistema XII	501
XII1. La geofacies del bosque alterado de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de <i>Stevia Salicifolia</i> y <i>Aristida sp.</i> , sobre secuencias de andosol ímbrico, regosol eútrico y leptosol lítico en ladeares de barrancos intervenidos	505
XII2. La geofacies del bosque muy alterado de encinos (<i>Quercus spp.</i>) y jaboncillo (<i>Clethra mexicana</i>) con sotobosque de eupatorium (<i>Eupatorium sp.</i>) y <i>Aristida sp.</i> , sobre regosoles	

eútrico o antrosol úrbico en los fondos de barrancos con fuerte desequilibrio estructural	506
XII3. La geofacies del bosque de eucalipto (<i>Eucaliptus globulus</i>) de repoblación con sotobosque de eupatorium (<i>Eupatorium</i> <i>spp.</i>), sobre antrosol úrbico en laderas de barrancos	508
XII4. La geofacies de las superficies de cultivo sobre secuencias de andosol háplico y fluvisol eútrico en la superficie de las “lomas” y fondos aluviales	510
XII5. La geofacies de las superficies perturbadas y sin recubrimiento vegetal afectadas por fenómenos de gravedad y abarrancamientos o por intervenciones antrópicas en los entornos a los ejes de infraestructura	511
10.2.12.1. La serie del encinar de la rampa Sur	511
10.3. Conclusiones	513
11. CONCLUSIONES	518
12. BIBLIOGRAFÍA	531

INTRODUCCIÓN.

La unidad montañosa conocida como sierra de Las Cruces -en su mitad meridional- y Monte Alto y Monte Bajo -en la septentrional- se alza en la porción central del Cinturón Volcánico Transmexicano (C.V.T), cadena que, siguiendo el paralelo 19°N, atraviesa el territorio de México desde las costas del Pacífico hasta las del Golfo. Dentro de ella aparece como un importante resalte topográfico de orientación norte-sur que, con cumbres superiores a 3500 msnm, más de 1500 m de desnivel y 40 km de eje mayor, separa a dos de las cuencas intramontanas más elevadas y pobladas del país, la de México al oriente y la de Toluca al poniente.

En este trabajo se aborda el estudio de los paisajes naturales de la vertiente oriental de esta sierra, que, con 832,8 km² de extensión, forma el límite occidental de la cuenca donde se ubica la enorme aglomeración urbana de Ciudad de México, con la cual mantiene estrechas relaciones funcionales tanto de índole natural como socioeconómica. Su gran desnivel topográfico, unido al carácter accidentado que le confiere la alta densidad de valles y barrancos que la disecan son los aspectos más representativos de su morfología “montañosa”, de la cual derivan los rasgos básicos de los demás componentes que articulan su medio natural. Un medio bien dotado y ampliamente diversificado, que hasta hace algunas décadas pudo sostener una importante riqueza forestal, con abetales y distintos tipos de pinares y encinares como bosques más representativos, además de algunas comunidades de distribución restringida pero indicadoras de ambientes muy especiales (como sucede con algunos pinares y olmeras que colonizan las cimas o con las laurisilvas que aparecen en algunos sectores de las medianías de la vertiente).

Pero la importancia de este territorio, desde una perspectiva geoecológica, no sólo proviene de la belleza escénica y del valor paisajístico que le confieren la diversidad de ambientes y la gran riqueza de la cubierta biótica, sino que deriva también del hecho de haber sido, y ser, un invaluable proveedor de recursos naturales -fundamentalmente hídricos y maderables- y asiento de una importante actividad agropecuaria, fundamentales para el desarrollo urbano de la capital mexicana. Lo más importante, sin embargo, es que desde mediados del presente siglo las faldas orientales de la sierra han sido alcanzadas por los suburbios urbanos, emplazándose de esta forma en ellas un acelerado proceso de ocupación y cambio de usos, caracterizado por la expansión ladera arriba de nuevos sistemas de aprovechamiento rural-urbano que rigen aún en la actualidad. Bajo el dominio de éstos se han ocasionado grandes alteraciones e impactos

en el medio físico, cuyas consecuencias se manifiestan con particular claridad en los componentes más sensibles e inestables del subsistema natural -la vegetación y los suelos- y se traducen en evidentes modificaciones de la fisionomía paisajística de la vertiente.

Un simple reconocimiento visual de ésta permite apreciar cómo las consecuencias negativas que conlleva el fenómeno expansivo de la ciudad en detrimento de los espacios naturales alcanzan mayor gravedad y amplitud en su parte basal, que tiene contacto directo con la urbe, donde la deforestación y la remoción de suelos y formaciones superficiales, sumados a los desequilibrios que todo ello ocasiona en los subsistemas hidrológico y geomorfológico, comprometen la estabilidad de las laderas y la pervivencia de los espacios forestales, los cuales hoy sólo perviven resguardados en el interior de los barrancos, encontrándose ya afectados en mayor o menor grado en función del tipo y la incidencia de las intervenciones. Por su parte, las laderas más altas y las áreas de cumbre, mejor conservadas que las faldas de la sierra, muestran ya una incipiente perturbación en la estabilidad natural, que asimismo parece progresar con prontitud en la medida en que el frente urbano avanza sobre las medianías de la vertiente, definiéndose así una interesante gradación altitudinal de ambientes forestales que muestran distintos grados de perturbación.

Fundada en los principios teóricos y metodológicos de la Geografía Física Global, la investigación planteada tiene como objetivo central explicar la configuración geoecológica de la vertiente, definiendo las pautas fundamentales que rigen su estructura y funcionamiento, llegando a definir dentro de su territorio los distintos niveles de integración paisajística que resultan de la interacción de los factores abióticos, bióticos y antrópicos que en ella concurren. Dado el contexto fuertemente ecumenizado del que participa el área de estudio, se ha considerado imprescindible llegar a definir, por una parte, las potencialidades geoecológicas naturales y el tipo de recubrimientos vegetales y edáficos asociados a ellas y, por otra, la forma de respuesta del sistema territorial ante las acciones antrópicas, para evaluar el grado de conservación del medio natural en el presente y reconocer sus tendencias.

La metodología seleccionada para la consecución de los objetivos propuestos es la del Análisis Integrado de Paisajes, formulada por Georges Bertrand a principios de los años setenta y que ha sido amplia y fructíferamente aplicada desde entonces, sobre todo en territorios de la zona templada ubicados en el Viejo Mundo. Ha sido, sin embargo, escasamente probada en ámbitos intertropicales y es prácticamente desconocida en el contexto científico mexicano; por esta razón el trabajo se ha planteado no sólo con la finalidad de comprender una determinada unidad territorial y de avanzar en el

diagnóstico y la solución de un problema específico, sino también con el objeto de probar la eficacia y la utilidad de la citada metodología para el análisis de áreas sometidas a condiciones naturales y socioeconómicas muy diferentes a las de sus anteriores ámbitos de aplicación. Por esta razón se ha considerado necesario desarrollar la investigación ciñéndose fielmente a los parámetros básicos que dicta el método de Bertrand en su versión inicial y más "ortodoxa" (Bertrand, 1966, 1968 1974); sólo en pasos o fases concretas se han efectuado algunas modificaciones o adaptaciones para resolver dificultades que han surgido durante el desarrollo del estudio.

En conformidad con las indicadas normas metodológicas, el trabajo consta de dos partes, en la primera de las cuales se construye una base informativa ordenada y completa referente al contenido y funcionamiento de cada uno de los componentes del sistema territorial considerados por separado, el cual ha de servir de soporte fundamental del análisis integrado. Dentro de este "inventario geoecológico" se toman en consideración, en primera instancia, los componentes más independientes y que se manifiestan a mayor escala espacio-temporal -la organización morfoestructural y el clima- y, en segunda instancia, los componentes más dependientes y que se manifiestan a menor escala espacio-temporal, primero los abióticos -las aguas y el relieve- y después los bióticos -el antropismo, la vegetación y los suelos-.

En la segunda parte se comienza con el establecimiento del marco taxonómico-corológico, que consiste en la determinación de la posición y el nivel del territorio estudiado dentro de una taxonomía validez general y en la definición orgánica y espacializada de los elementos corológicos de niveles inferiores que lo constituyen hasta llegar al de aquéllos que se manifiestan como unidades elementales de paisaje. Para ello se ha aplicado el sistema taxonómico de áreas diseñado por Bertrand y compuesto por seis unidades o niveles jerarquizados -*zona, dominio, región natural, geosistema, geofacies y geotopo*- , cada uno de los cuales se diferencia por su escala dimensional y por el peso relativo de los componentes geoecológicos anteriormente analizados, considerando que las unidades fundamentales son los geosistemas o ámbitos de dimensiones expresables en Km² o en decenas de Km² en los que se da una misma y peculiar combinación de "potencial abiótico", "explotación biótica" y "acción antrópica" (Bertrand, 1968).

Apoyado en el armazón taxonómico así establecido, el desarrollo de la segunda parte del trabajo responde estrictamente a lo que es un análisis integrado de paisajes. Dicho análisis consiste en el estudio directo de todos los geosistemas definidos mediante el reconocimiento de las unidades de escala dimensional reducida y coincidentes con paisajes elementales (geofacies) que los forman, la investigación por sondeo del

contenido y la estructura vertical de cada una de éstas y la determinación de las relaciones espacio-temporales que entre ellas existen. En el planteamiento y desarrollo de estos pasos metodológicos se parte del postulado de que las geofacies o unidades de paisaje que se reconocen no son sino expresión de distintos "estados" del geosistema al que pertenecen, algo así como distintas etapas seriales que tienen como referencia un mismo paisaje-clímax y que están más o menos próximas a él (Muñoz, en prensa).

En conformidad con estas ideas se ha llevado a cabo un análisis por sondeo vertical del campo de cada uno de los geosistemas en el que los puntos de observación han sido determinados por el paisaje. Dicho análisis comienza con la diferenciación mediante observación directa, fotografía desde tierra y fotointerpretación de las geofacies existentes en el ámbito espacial atribuido a cada unidad geosistémica y se centra en el reconocimiento sobre el terreno del contenido, la estructura y las tendencias funcionales de cada una de estas facies paisajísticas elementales, mediante la realización sistemática de inventarios acerca de su subsuelo, su suelo y su vegetación (organizada en estratos), cuyos resultados se expresan mediante gráficos en forma de "pirámide" (Bertrand, 1966). Con la información así obtenida se determina la posición de cada una de las geofacies analizadas en la sucesión de "etapas seriales" referidas al paisaje clímax de cada geosistema y se reconocen los factores naturales o antrópicos determinantes de su aparición y mantenimiento, con lo cual se puede llegar a un diagnóstico matizado y preciso del estado del sistema territorial en cada uno de los sectores del área de estudio, indicando su tendendencia espacial, su nivel de diversificación interna, su situación dentro del marco de la bio-rexistasia y su grado de "naturalidad".

PARTE PRIMERA. EL ANÁLISIS SECTORIAL DE LOS COMPONENTES DEL PAISAJE.

En este primer capítulo se presentan los resultados obtenidos en el inventario geoecológico, etapa inicial y básica en la metodología del Análisis Integrado de Paisajes, que tiene como objeto la definición del contenido estructural y funcional de los diversos componentes físicos, bióticos y antrópicos del área considerados por separado. La realización de este primer análisis sectorial se plantea como un etapa que es necesariamente previa a la integración, ya que de ella depende el establecimiento de marcos conceptuales y vías metodológicas que serán fundamentales en las fases más avanzadas de la investigación.

Se parte de la presentación y caracterización topográfica del territorio estudiado, para a continuación efectuar el análisis de los diversos componentes del medio conforme a un orden preestablecido con la finalidad de facilitar la integración ordenada de la información y enfocarla hacia la percepción de la organización geoecológica del área (Muñoz, en prensa). De acuerdo con lo propuesto por Georges Bertrand (1974), se comienza con los componentes “macroestructurales” -la **organización morfoestructural** y el **clima**-, dimensionalmente mayores y que presentan un máximo grado de independencia; luego se analizan los componentes “mesoestructurales abióticos” -la **hidrología** y el **relieve**-, que se manifiestan en una escala dimensionalmente menor que los anteriores, de los que depende en gran parte su organización; y, finalmente, se trata de los componentes “mesoestructurales bióticos” -la **organización antrópica, la vegetación y los suelos**- que, manifiestos a una escala dimensional más pequeña, son los más dependientes del sistema natural y por ende altamente complejos, dinámicos e inestables, siendo en ellos en los que mejor se sintetiza el estado y el funcionamiento global del territorio.

1. PRESENTACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Con los nombres de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo se designa el reborde montañoso de dirección norte-sur que cierra por el oeste la cuenca de México -asiento de la capital del país- y la separa de la inmediata cuenca de Toluca. Con algo más de 40 km de longitud, aparece como una sola unidad serrana en la que tradicionalmente se distinguen tres porciones de límites imprecisos hasta el presente. Es claro, no obstante, que los topónimos Monte Alto y Monte Bajo hacen referencia al sector más septentrional de la alineación, al norte de la cabecera y el curso alto del río Xinté, mientras que la denominación Sierra de Las Cruces se refiere a los sectores central y meridional de la misma, representando ésta última las tres cuartas partes de su extensión. En todo caso, desde el punto de vista topográfico, el límite indicado carece de relevancia suficiente para considerar que en el conjunto orográfico donde se ubica el área objeto del presente estudio existan dos ámbitos montañosos separados y diferentes. Es por ello por lo que, desde el principio, designamos a dicho conjunto con el nombre -en singular- de "sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo", señalando a continuación que no todo él ha sido objeto del presente estudio (fig. 1.2).

Dentro de esta sierra, el área que se ha estudiado comprende exclusivamente la ladera oriental, vertiente a la cuenca donde se asienta la enorme aglomeración urbana de ciudad de México, abarcando desde la divisoria de aguas general hasta el enlace con el fondo endorreico de la citada cuenca; se incluyen, pues, en ella no sólo las superficies propiamente montañosas sino también las rampas de piedemonte, de menor pendiente, que se extienden a sus pies y las conectan con el centro de la depresión (fig. 1.1b). Precisando más, el territorio objeto de nuestra investigación queda enmarcado al poniente por la referida divisoria México-Toluca y al oriente por el fondo densamente urbanizado de la cuenca de México (que coincide aproximadamente con el meridiano 99° 13' W); por el norte y el sur sus límites se sitúan, respectivamente, en las divisorias de aguas externas de las cuencas hidrográficas de los ríos Cuautitlán y La Magdalena, siendo su extensión territorial de 832.78 km², que representan algo más del 50% de la superficie total del conjunto serrano.

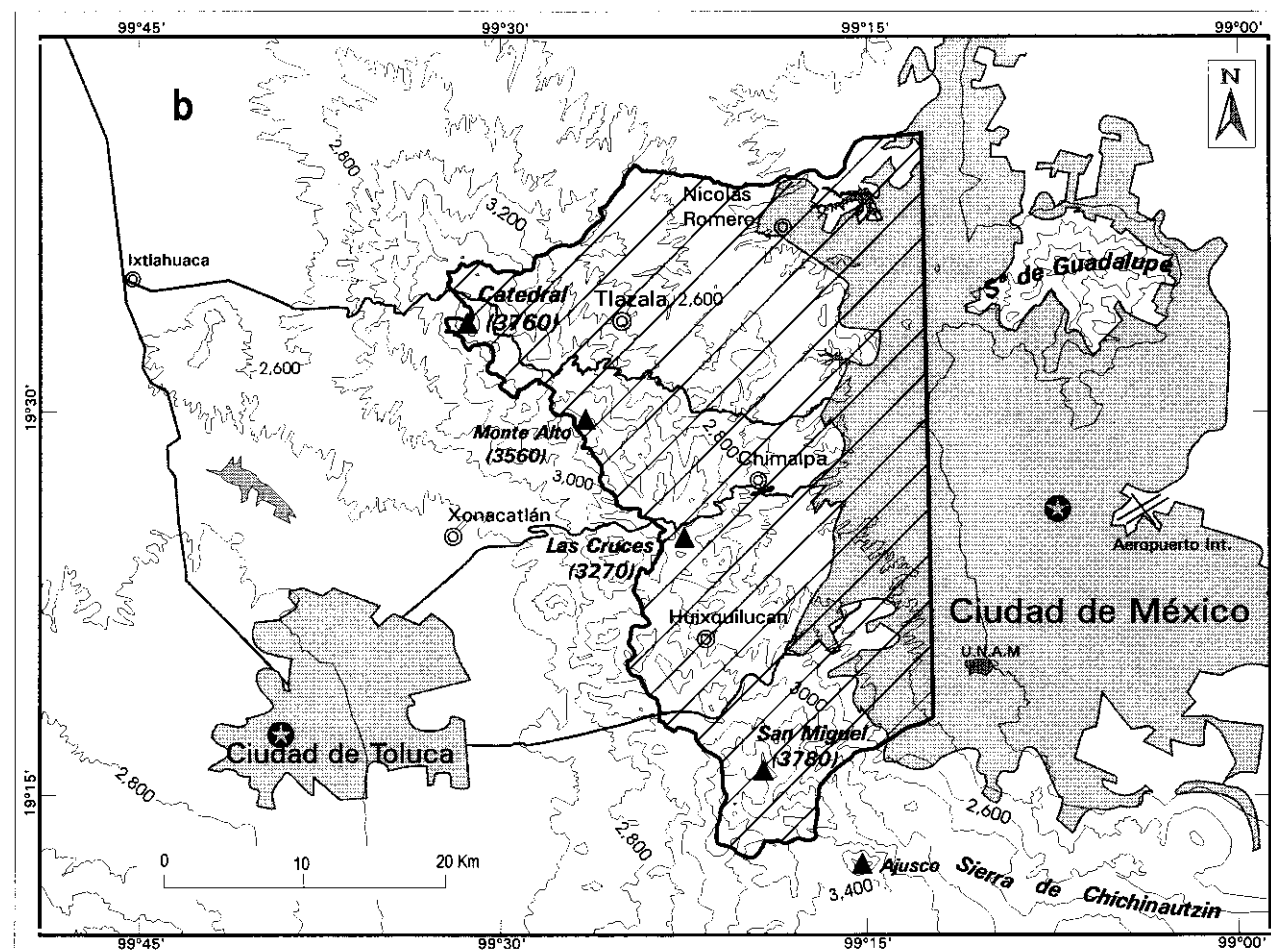
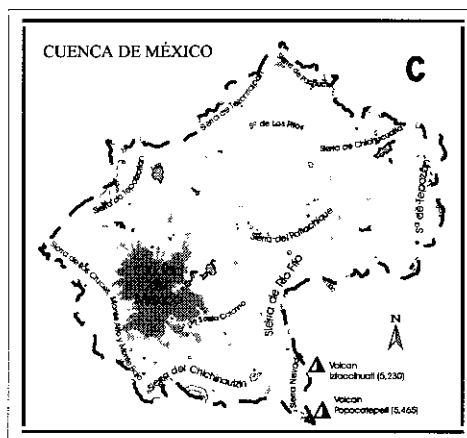
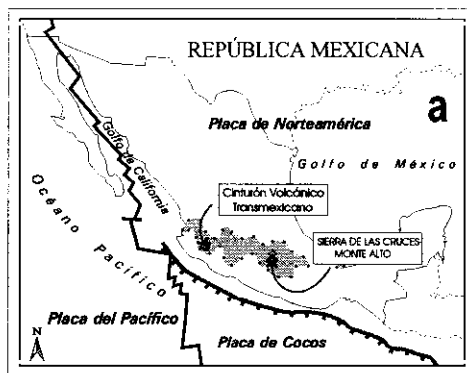


Figura 1.1. Ubicación del área de estudio en el contexto de (a) Las República Mexicana, (b) la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo y (c) la cuenca de México.

En este apartado introductorio se presentan un encuadre y una descripción general del área así delimitada tomando en consideración los caracteres de su relieve, elemento de gran importancia, ya que la naturaleza montañosa del territorio implica altos gradientes topográficos que influyen en su comportamiento ecogeográfico global. Por otra parte, en el mapa topográfico de la figura 1.3a se presenta íntegra la toponimia de los elementos del paisaje natural y social que serán utilizados como referencias locacionales en los posteriores apartados del trabajo.

1.1. Ubicación en el contexto regional: El Cinturón Volcánico Transmexicano y la cuenca de México.

Dentro del marco de la regionalización física del territorio mexicano, la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo -cuya vertiente oriental se estudia- forma parte de la cadena conocida como Cinturón Volcánico Transmexicano (C.V.T.), considerada desde un enfoque fisiográfico como una de las grandes unidades que articulan el relieve del país. Con 920 km de longitud y 130 km de anchura, atraviesa de W a E el territorio de la república desde las costas del Pacífico hasta las del Golfo de México (fig. 1.1a) y se yergue en más de mil metros por término medio sobre las unidades del relieve que la delimitan -la Altiplanicie Central, al norte, y la cuenca del río Balsas, al sur-, constituyendo una barrera orográfica con envergadura suficiente para tener implicaciones climáticas y biogeográficas de importancia continental.

Como su nombre indica, el relieve del C.V.T. está constituido fundamentalmente por geoformas de carácter volcánico: acumulaciones lávicas y piroclásticas, campos volcánicos y aparatos volcánicos aislados de diversa magnitud, delimitados todos ellos por depresiones o cuencas intramontanas que, por lo común, corresponden con sectores tectónicamente hundidos. Las más altas prominencias topográficas del país se encuentran en esta cadena volcánica, destacando entre ellas el Pico de Orizaba (5750 msnm), el Popocatepetl (5460 msnm) y el Iztaccihuatl (5420 msnm).

En concreto, la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo se yergue a 3860 msnm -que se alcanzan en el cerro El Muñeco, al sur de la alineación-, en

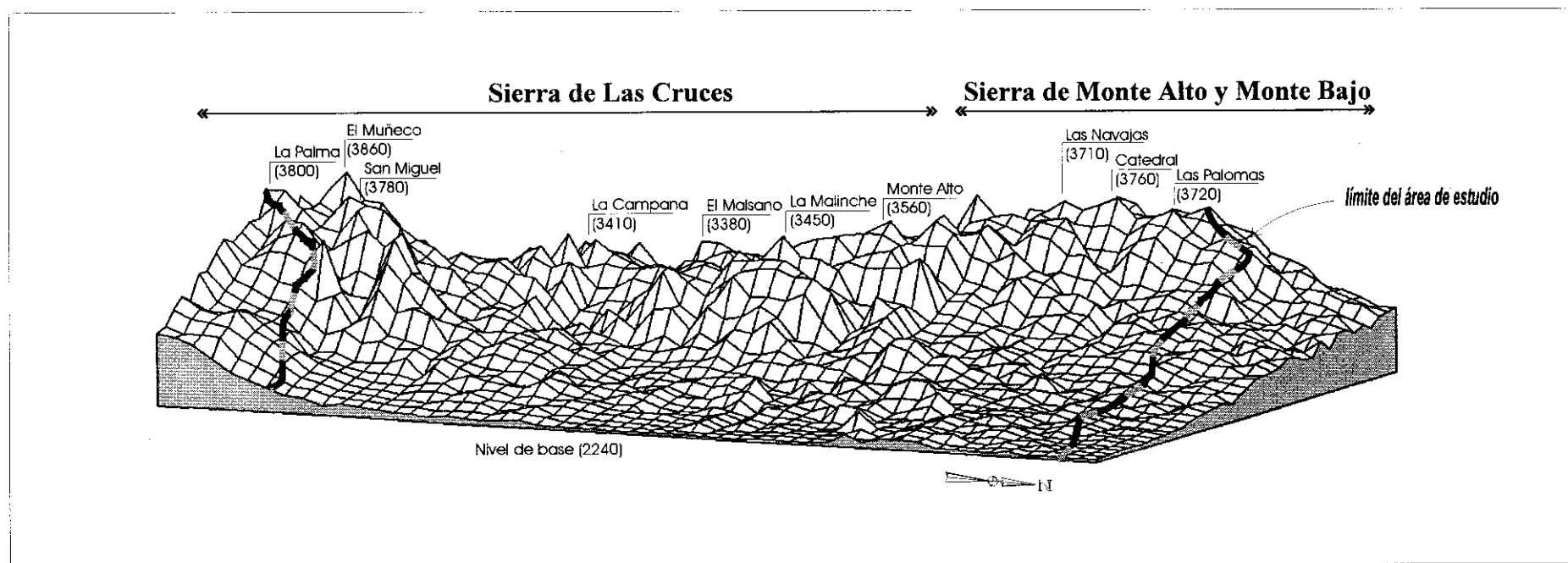


Figura 1.2. Bloque diagrama de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo.

el tramo central del C.V.T., donde la base de los relieves montañosos se encuentra a 2300 msnm. y -como se ha dicho- sus vertientes se levantan al poniente y al oriente sobre los relieves relativamente deprimidos de dos cuencas rellenas de depósitos aluviales y volcánicos, la de Toluca y la de México (fig. 1.1b). Esta última muestra los caracteres típicos de una fosa tectónica intramontana y está bordeada en todas direcciones por nueve sierras, de las cuales la de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo constituye -como se ha dicho- su límite por el poniente. La continuidad y la envergadura de esta orla montañosa dificultan en extremo el drenaje de su fondo, el cual tiene un claro carácter endorréico de lo que se derivan importantes implicaciones en el comportamiento hidrológico de las elevaciones que la enmarcan (fig. 1.1a).

La ubicación que presenta la sierra objeto de estudio en el sector occidental del citado borde montañoso de la cuenca de México, su disposición en relación con los otros resaltes topográficos y en particular con las cercanas sierras de Guadalupe al noreste y la de Chichinautzin al sureste, así como su orientación N-S y su desnivel superior a los 1500 m, son todos ellos aspectos que tienen gran importancia en la organización del clima, la hidrología y la morfodinámica y, por ende, también en la geoecología de su vertiente oriental -en la que se centra nuestro análisis-, por lo que serán abordadas en apartados posteriores.

1.2. Descripción topográfica de la vertiente estudiada.

Vista en conjunto, la vertiente estudiada tiene la forma de una rampa cóncava e inclinada hacia el oriente, cuya morfología, si bien agreste -con las antípodas altimétricas dispuestas a los 2240 msnm, que se registran en la parte central de su enlace con la Cuenca de México, y a los 3860 msnm del “cerro” El Muñeco-, es largamente tendida en su base, situándose más de la mitad de su superficie por debajo de los 2600 msnm. En ella se distinguen pues dos principales franjas altitudinales, correspondientes a los sectores superior o de montaña e inferior o de rampa de piedemonte. Normalmente el enlace entre las dos partes indicadas es suave y sin grandes rupturas de pendiente, pero hay que señalar que en algunos sectores centrales de la sierra el contacto entre montaña y piedemonte se da a través de cambios bruscos en la topografía, con presencia de escarpes de origen tectónico de hasta 400 m de desnivel (fig. 1.3).

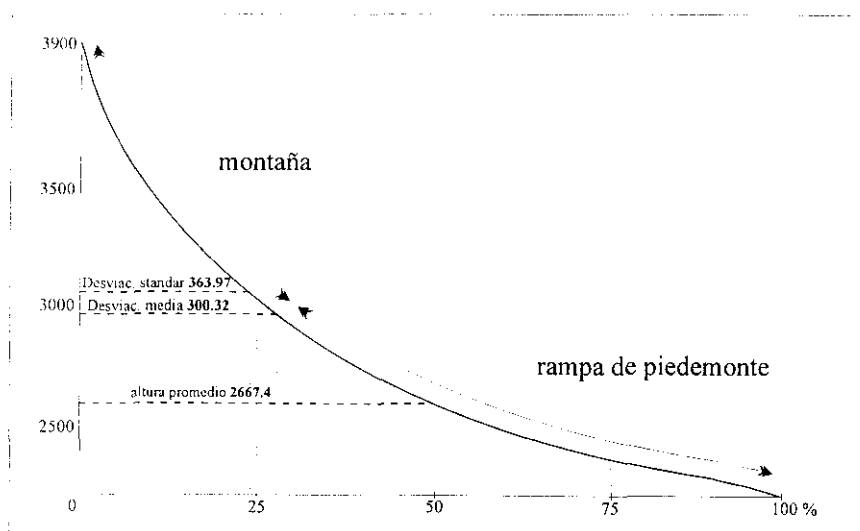


Figura 1.3. Curva hipsométrica de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo.

1.2.2. El sector superior de la vertiente y las cumbres montañosas.

El relieve de la parte superior de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo es plenamente montañoso, destacando en él que sus más altas cimas se colocan justo por debajo del límite inferior que Troll (1971) propone para la alta montaña en el área central de México; no obstante, como se verá en el apartado correspondiente al análisis climático del área, en estos sectores se conjuntan una serie de condiciones que nos han llevado a definir convenientemente como “alta montaña” al sector que se yergue por encima de los 3400 msnm. Pero esta situación no se da de forma continua a lo largo de toda la extensión de la divisoria general de la sierra, sino que es propia sólo de dos áreas donde se concentran los más altos picos, una en el extremo meridional de la sierra -"cerros" El Muñeco (3860 msnm.), El Triángulo (3810 msnm.), La Palma (3800 msnm.) y San Miguel (3780 msnm.)- y otra en el extremo septentrional -"cerros" Catedral (3760 msnm.), Las Palomas (3720 msnm.) y Las Navajas (3710 msnm.)-. En la parte central de la sierra -entre los cursos de los ríos Hondo y Xinté- la altitud de la línea de cumbres desciende y las cimas generalmente no sobrepasan los 3500 msnm. Los resaltes topográficos mayores a que se acaba de hacer referencia están separados por surcos deprimidos que se corresponden con las cabeceras y altos valles excavados por los cursos de agua

de las principales redes hidrográficas, entre las que destacan por su dimensión las de los ríos Cuautitlán, Xinté, Tlalnepantla y Hondo (Figs. 1.2 y 1.4a).

1.2.2. El sector inferior de la vertiente: la rampa de piedemonte.

Por debajo de los 2800-2900 msnm las laderas montañosas van siendo sustituidas por una topografía de rampa, la cual es más extensa y de menor pendiente al norte del río Tlalnepantla, mientras que al sur de éste se hace más corta e inclinada. Pero, tanto en un sector como en otro, esta superficie tendida y regular aparece densa y profundamente fragmentada por la incisión fluvial, que ha excavado numerosos valles paralelos (frecuentemente controlados por líneas tectónicas de fracturación, como los correspondientes a las redes de los ríos Tacubaya, Becerra, Mixcoac, del Muerto y San Angel) y la ha compartimentado en estrechas plataformas digitadas o en sistemas de lomas largas y aplanadas (fig. 1.4a).

Las dimensiones y la morfología de estos surcos que diseccionan el piedemonte es muy variada, encontrándose desde barrancos o cárcavas de algunos metros de profundidad hasta valles estrechos y encajados de varios cientos de metros de desnivel entre el cauce y las divisorias, pasando por valles muy amplios y de fondo plano por relleno aluvial. En cuanto a las mesas correspondientes a la superficie general de la rampa que separan los valles principales, éstas suelen tener unos diez km de longitud por una anchura que generalmente no supera un km; algunas de ellas son de superficie plana y bordes escarpados mientras que otras son levemente convexas y enlazan de forma suave con las laderas de los valles, constituyendo en general el medio tradicionalmente preferido para el asentamiento de los pueblos que, ya en época prehispánica, ocupaban el área.

1.2.3. La altimetría y las pendientes.

El análisis de la altimetría y de las pendientes (figs. 1.4a y b) revela el carácter eminentemente montañoso de la vertiente, cuyas cotas extremas señalan un desnivel medio de más de 1500 m. Como se podría esperar, la parte más baja de ésta es el único gran sector que muestra una morfología semillana, con declives

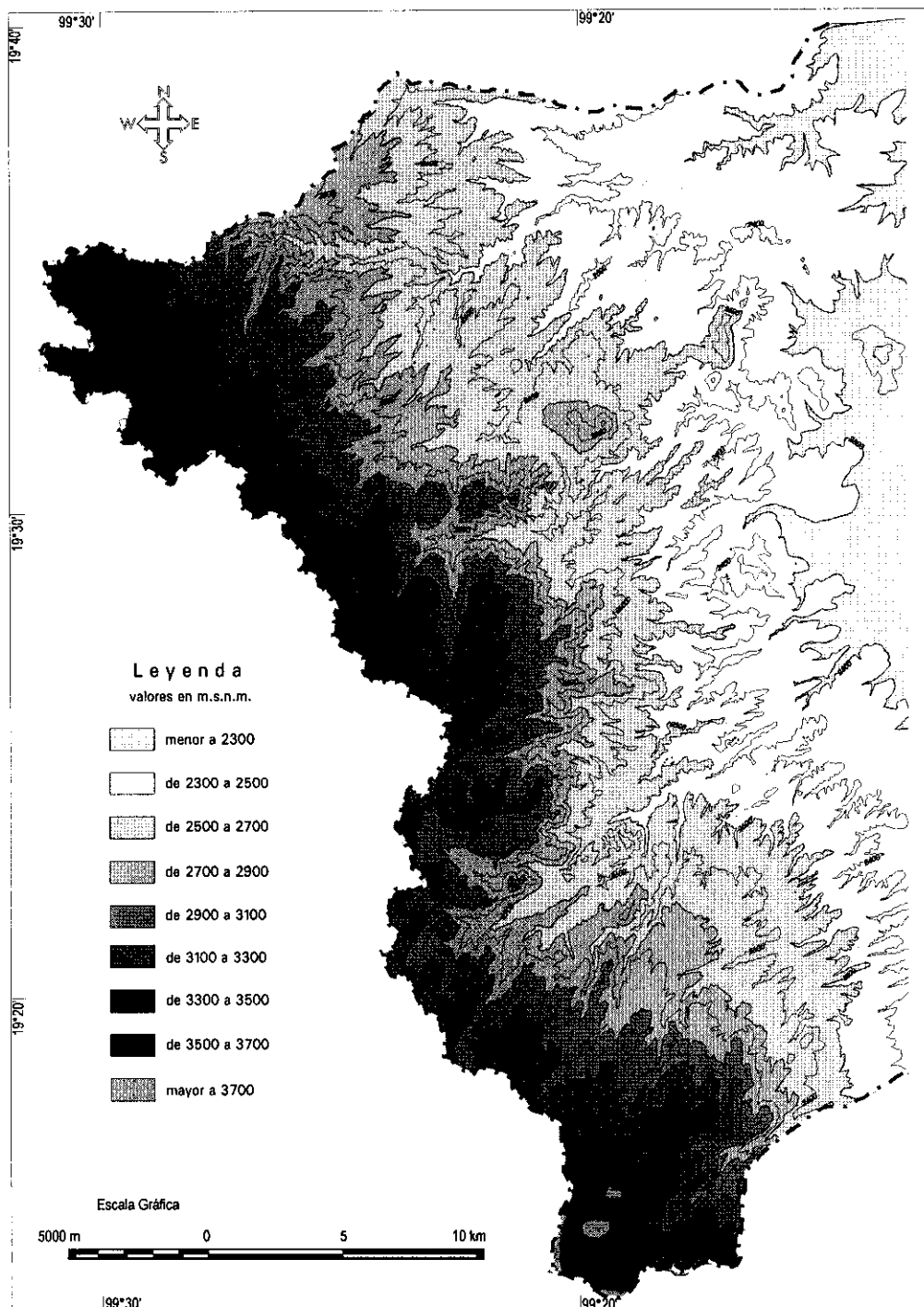


Figura 1.4a. Altimetría

de menos de 3°, que pueden bajar a 1°30' en su contacto con el fondo llano de la cuenca de México y que solamente se incrementan a 15° en las laderas frontales de algunas pequeñas prominencias -como el cerro Atlaco, el Moctezuma o los bordes de la sierra del Tigre- que marcan el arranque de los relieves pedemontanos (ruptura de pendiente que ha sido aprovechada para el emplazamiento de la mayor parte de las 21 presas que se han construido a todo lo largo de la franja serrana). Pero esta porción basal de topografía más suave no presenta las mismas dimensiones a todo lo largo del pie de la sierra, sino que aparece más extendida en el tercio septentrional -abarcando toda la porción inferior del valle del río Cuautitlán-, el cual, como se verá mas adelante, corresponde con el sector serrano más antiguo y nivelado por la erosión. En los dos tercios restantes, central y meridional, el enlace montaña-cuenca es más brusco, faltando una superficie de tan suave pendiente.

Superado el nivel altitudinal de los 2300-2400 msnm. se desarrollan los relieves más prominentes y accidentados de la rampa serrana, definidos por un aumento en la pendiente general de ésta, que se coloca entre 3° y 6°, pero que se incrementan hasta alcanzar más de 30° en las laderas de los numerosos valles y barrancos que la accidentan (la mayoría de los cuales, debido a sus dimensiones planimétricas, no aparecen representados en el mapa de pendientes). Otros enclaves de marcada inclinación que irrumpen sobre las superficies tendidas de la rampa son la pequeña sierra del Tigre y los cerros Totoltepec, Moctezuma, El Judío y Chiluca, donde los declives generales se incrementan hasta a 15° y a más de 30° en el interior de los numeroso barrancos que los disecan. Por fin, entre los 2500 y los 3000 msnm el declive general de la rampa supera en promedio los 6°, marcando el arranque de las vertientes montañosas en un ámbito dominado por la secuencia de valles y lomas, en el que las pendientes de las laderas internas de los valles comúnmente superan los 30° y presentan frecuentes enclaves escarpados.

La superficie situada por encima de los 3000 msnm - y que representa el 25% del total- incluye a los relieve plemanente montañosos con los que culmina la sierra coincidentes -como se verá- con las áreas de mayor concentración de estructuras volcánicas capaces de tener clara expresión en el relieve. Las laderas de domos y conos mantienen declives que superan los 15° y a veces 30°. No obstante, se encuentran también pendientes muy bajas -menores de 6°- en

amplias sectores de las áreas de cumbre, labradas sobre derrames lávicos o rellenadas por acumulaciones piroclásticas (se localizan por arriba de los 3500 msnm y representan algo menos del 10% de la superficie total). Y es de destacar que las vertientes empinadas en más de 30° aparecen concentradas en los dos tercios meridionales de la vertiente, donde están asociadas a cuerpos dómicos - como ocurre en los “cerros” Dos Ríos, Ñangó y Gachupín-, a laderas tectonizadas -como en el frente que transcurre de norte a sur entre los pueblos Santiago Tepatlaxco y Dos Ríos- o a sectores profundamente incididos de valles y barrancos -como en los tramos encajados del río La Magdalena-. En este agreste sector son frecuentes las paredes verticalizadas e inestables, forestadas pero frágiles y por ende sujetas a modelados intensos por fenómenos de gravedad.

1.3. Conclusiones.

El carácter montañoso de la vertiente está dado por la diferencia altimétrica entre sus mayores prominencias montañosas y los relieves deprimidos adyacentes, así como por una topografía agreste en la que predominan fuertes gradientes topográficos. El efecto combinado de la altura relativa y la pendiente es un elemento de análisis de gran interés para comprender el comportamiento dinámico de los diversos parámetros que serán abordados en los subsecuentes apartados. De forma específica destaca su influencia en la variación vertical de los climas y la hidrología, así como del modelado y de diversos parámetros biológicos.

Se define pues un tercio más septentrional, drenado por la red del río Cuautitlán, muy levantado a la vez que extenso lo que le confiere una morfología tendida y comparativamente menos diseccionada por cursos de agua de más reciente instalación, con laderas que en términos generales no superan los 30°. En él las laderas propiamente montañosas y la rampa enlazan a través de una gradual transición que le confiere al conjunto una distribución más homogénea de los recursos y de los aprovechamientos humanos, predominando en el paisaje los bosques y las áreas de cultivo que sólo en las partes más bajas se convierten en urbanas.

En cambio, la fisionomía del tercio central del territorio, desde la cuenca del río Tlalnepantla al norte a la del río Hondo al sur, tiene una fisionomía, si bien menos elevada y extensa, notablemente más agreste y con cambios bruscos de pendiente, entre los que resalta una importante ruptura en el contacto entre las vertientes montañosas y la rampa que las enlaza con el fondo de la cuenca. La densa red de barrancos que la disecta le confiere un aspecto muy accidentado, por la sucesión continuada de valles rectilíneos y paralelos, que manifiestan una cierta asimetría en sus laderas. Esta complicada configuración condiciona una distribución altamente matizada de los recursos naturales y de los aprovechamientos humanos: Mientras que en el sector más elevado de la vertiente los bosques naturales han sido ya en gran medida eliminados para abrir camino a los extensos campos de cultivo que se abren incluso en porciones culminantes, en el sector inferior los aprovechamientos agrarios, intercalados con retazos de los antiguos bosques, están en su mayoría abandonados y configuran un paisaje ciertamente desolado, tan solo atravesado por nuevas autopistas, configurando una espacie de antesala a la gran urbe.

El último tercio en que se ha dividido la vertiente desde una perspectiva fisiográfica se extiende desde la cuenca del río Hondo, incluyendo la mitad meridional de la cuenca de este río. Esta amplia extensión del sur de la sierra es comparativamente la más prominente, pero, pese a presentar fuertes declives y un notable grado de denudación erosiva, muestra una densidad y una profundidad de disección inferior a la de el sector central anteriormente descrito. Aunque la mayor parte de los cursos discurren en valles y barrancos bastante encajados, dejan entre sí amplias divisorias que confieren al conjunto de una fisionomía menos accidentada, con extensas superficies de rampa que presentan declives moderados. Los caracteres de este sector, mejor adaptados a los usos humanos, y su mayor proximidad al centro urbano de la capital han favorecido la ocupación habitacional, así como el establecimiento de las principales líneas de comunicación e infraestructura que atraviesan la sierra, constituyéndose su rampa de piedemonte hoy en día en el principal frente de expansión urbana de toda la sierra.

2. LAS MORFOESTRUCTURAS.

2.1. La historia geológica de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo.

La formación de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo debe ser entendida, en principio, como parte de la actividad orogénica que desde inicios del Cenozoico afecta la porción meridional de México y cuya fuente energética es la subducción litosférica que ocurre en las costas del Pacífico. En ellas la Placa de Cocos es empujada por la Placa del Pacífico y subducida por debajo de la Placa de Norteamérica. Durante las primeras etapas de esta orogenia, (Eoceno), la compresión entre las placas citadas causó la formación de cadenas de plegamiento en la mitad meridional del territorio actual de México. La emersión y elevación de estas morfoestructuras, constituidas por los materiales sedimentarios que hasta entonces se habían formado bajo el mar, desencadenó un intenso trabajo de los agentes erosivos externos, por lo que las geoformas montañosas -constituidas mayoritariamente por rocas carbonatadas- resultaron pronto intensamente denudadas.

Los depósitos detríticos resultantes de este proceso de denudación se acumularon en depresiones tectónicas y kársticas postorogénicas (Fries, 1960 en Schlaepfer, 1968), conformando, junto con los restos de las estructuras plegadas un "basamento antiguo", anterior a la primera etapa de actividad volcánica en el área que actualmente ocupa la sierra. En ella dicho basamento estaba compuesto por potentes depósitos sedimentarios continentales, cuya parte más superficial incluía 600 m de conglomerados de calcáreos, areniscas y rocas metamórficas datadas como del Cretácico Superior al Eoceno.

Es a partir del Paleógeno Inferior (Schlaepfer, 1968) y sobre todo durante el Mioceno y el Plioceno cuando, debido a una mayor liberación de la presión contenida en la corteza terrestre, se formaron importantes redes de fracturaciones corticales, a través de las cuales se produjo la emisión de grandes volúmenes de magma. La acumulación de estos productos volcánicos en forma de dorsales, estratovolcanes, aparatos aislados, etc., a lo largo de centenares de

kilómetros llevó a la conformación básica del Cinturón Volcánico Transmexicano, levantado -como se ha dicho- en más de 1000 m sobre el antiguo basamento fracturado. De este modo puede decirse que la cadena montañosa en que se ubica la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, dentro de la que afloran sobre todo rocas endógenas de edad mio-pliocena, es fundamentalmente de edad neógena. Sin embargo -como se verá más adelante- la mayor parte de las estructuras geológicas superficiales, se originaron en el Cuaternario.

2.1.1. Las etapas de formación de la sierra.

Los episodios volcánicos responsables de la construcción de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo se pueden agrupar en dos etapas principales. La primera, desarrollada antes del Plioceno superior, incluye el volcanismo por el que se formó un primer volumen levantado o "basamento volcánico local". La segunda abarca la actividad eruptiva posterior al período indicado que, sobre este basamento, formó la sierra más o menos con las dimensiones y la configuración con las que la conocemos en la actualidad.

A pesar de que las dos etapas forman parte de un mismo ciclo volcánico y de que no existe entre ellas una verdadera solución de continuidad, se las ha delimitada en el Plioceno superior, ya que este constituye un umbral cronológico de referencia, pues a partir él se conformaron la mayor parte de las estructuras que hoy afloran en nuestra área de estudio y que trascienden en la configuración de su relieve.

- Primera etapa: formación del basamento volcánico de la sierra en el Mio-Plioceno.

En esta etapa, que temporalmente abarca el Mioceno y el Plioceno inferior, ocurrieron las primeras emisiones volcánicas que se asocian con la formación del cuerpo de la sierra (fig.2.1). En ella, de acuerdo con las ideas de Mooser (1974), y según las cuales en el área de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo se produce una migración del volcanismo de norte a sur por lo tanto es muy

probable que iniciaran su formación algunos estratovolcanes de la mitad septentrional de la sierra -entre ellos el gran edificio sobre el que después se establecieron los domos donde se ubican las grandes cumbres de Catedral y Las Palomas-. Sin embargo, también en la mitad meridional de la sierra existen estructuras de grandes dimensiones -como son los restos de los volcanes complejos de San Miguel, Bobashi y La Palma- que sugieren un origen también muy antiguo para el volcanismo del centro y sur de la sierra, desarrollado probablemente hacia el final de esta primera etapa.

Igualmente en este tiempo se formó la sierra de Guadalupe (fig. 1.1), cuyas estribaciones occidentales se adentran en nuestro territorio de trabajo y cuyos materiales piroclásticos y lávicos, de composición intermedia y ácida, se interdigitaron con los piroclastos de la base de la sierra de Monte Bajo.

- Segunda etapa: formación de la sierra actual en el Plio-Cuaternario.

El volcanismo de esta segunda fase es -según se ha dicho- continuación de la actividad eruptiva de la etapa anterior y se desarrolla en el tiempo que va del Plioceno superior al Pleistoceno superior (fig. 2.1). Consistió en la emisión de grandes volúmenes de material ígneo que sepultaron las estructuras generadas en la etapa precedente y llevaron a la conformación del cuerpo principal de la sierra, confiriéndola una elevación y un vigor orográfico similares a los que presenta en la actualidad.

Los grandes aparatos volcánicos que surgieron en la primera etapa continuaron activos en este tiempo, siendo su actividad fundamentalmente explosiva, con fenómenos de flujos de ceniza o de pómez, flujos y surges piroclásticos y lahares, además de formación de domos y derrames lávicos. Los enormes volúmenes de materiales endógenos expulsados por los volcanes, sumados a los de formaciones volcano-detriticas producidas por la destrucción parcial de los edificios durante las erupciones, se acumularon en las faldas y en torno a la sierra en construcción, conformando a sus pies un voluminoso y extenso piedemonte volcánico.

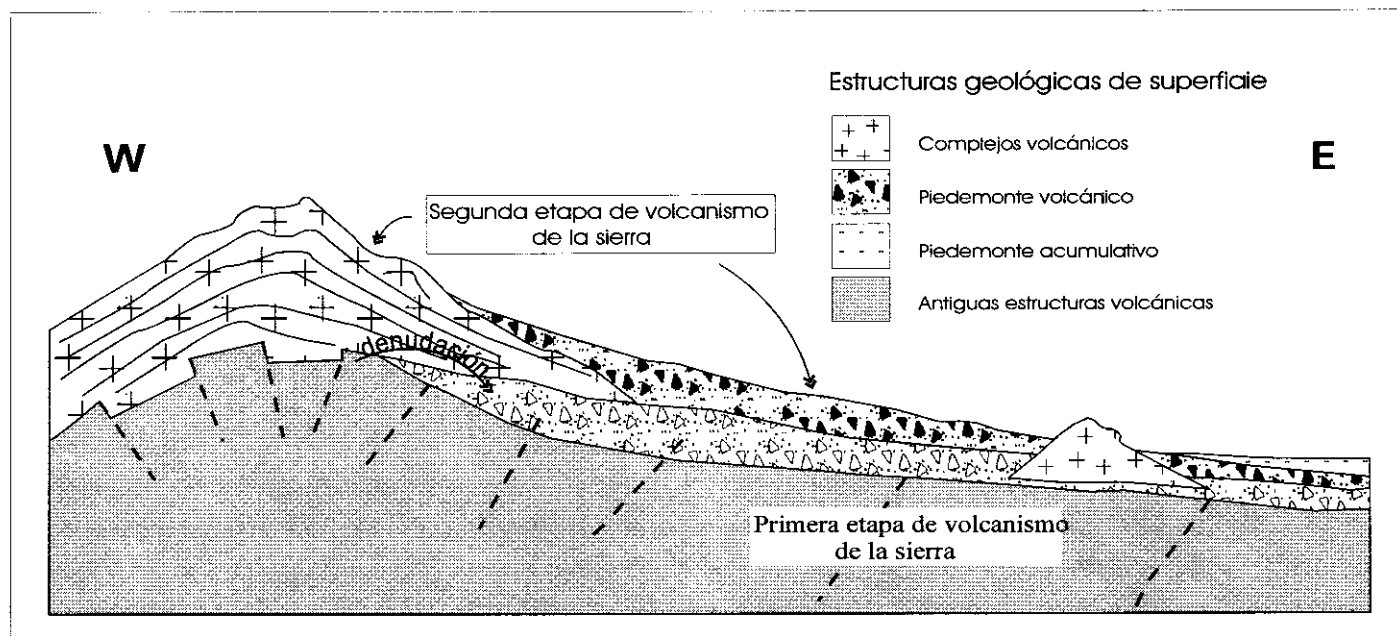


Figura 2.1 Etapas de volcanismo y esquema de la estructura geológica de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo.

Debido a la cercanía entre los puntos de emisión y al colapso de muchos de los edificios, la mayor parte de las estructuras volcánicas son hoy muy difíciles de delimitar y diferenciar, apareciendo la sierra como un enorme apilamiento de lavas, piroclastos, lahares, etc. de diversas procedencias y carentes de rasgos morfológicos significativos. La única excepción a esta norma son los domos que taponaron algunas de las chimeneas: tal es el caso de las grandes y bien reconocibles cúpulas lávicas que constituyen los "cerros" Catedral, Las Palomas, La Palma y San Miguel, donde se asientan algunas de las mayores cumbres del área.

Aunque la gran mayoría de los centros de actividad se concentraron en torno al eje N-S de la sierra, otros puntos de emisión de menores dimensiones aparecieron dispersos en toda la extensión de ésta. En relación con ellos se formaron conos cineríticos y domos que en la mayor parte de los casos fueron sepultados o englobados por los productos del volcanismo de los grandes focos eruptivos axiales. Sólo algunos domos y derrames que se formaron en los sectores más bajos y marginales de la sierra -como los de la sierra del Tigre y los de los cerros Totoltepec, Moctezuma y El Judío- no fueron recubiertos del todo y constituyen aún hoy relieves poco elevados, bien diferenciados, que se alzan por delante de la cadena volcánica principal.

A lo largo de este intervalo temporal Plio-Cuaternario existieron otros focos de volcanismo cercanos al área, cuyos piroclastos transportados por aire llegaron a alcanzar las vertientes de la sierra, interdigitándose con los materiales del volcanismo local. Destaca la actividad responsable de la formación de tres complejos volcánicos, cuyos aparatos mayores son los volcanes Ajusco, Tlalli y Zempoala (Mooser, 1974): la cercanía de sus bocas de emisión con respecto al área de estudio (de 10 a 25 km) permitió que los materiales cubrieran una amplia extensión de la misma. Sin embargo, dado su escaso volumen, este aporte alóctono ha de considerarse poco significativo en el contexto estratigráfico y morfoestructural de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo.

2.2. Las estructuras geológicas.

Tomando como base el mapa geológico recientemente elaborado por Mooser (1995) y considerando las correlaciones de las unidades volcanoestratigráficas con las unidades morfológicas de la sierra propuestas por Lugo (1990), además de las apreciadas por nosotros, se reconoce la existencia de seis grandes estructuras geológicas en la vertiente estudiada. Tres de ellas constituyen el sector superior o montañoso de la misma y pueden definirse como complejos volcánicos, que se suceden de norte a sur y cada uno de los cuales -el de Catedral, el de Las Cruces y el de San Miguel- se articula en torno a un centro principal de emisión. Las otras tres abarcan el sector inferior y la base de la vertiente y son un piedemonte volcánico, resultado de la actividad volcánica desarrollada en la parte alta de la sierra, un piedemonte de tipo detrítico-acumulativo, que se prolonga hacia abajo del anterior, y un conjunto de antiguas estructuras volcánicas marginales que no fueron totalmente sepultadas por los materiales procedentes de la montaña (fig. 2.2).

2.2.1. El complejo volcánico Catedral.

Es el complejo volcánico más septentrional del área, abarcando los relieves montañosos situados al norte del río Navarrete (afluente del río Xinté en su tramo alto), donde se sobrepasan los 3500 msnm en numerosos "cerros" (Las Palomas, Catedral, Las Navajas, Prieto, Monte Alto). Pese a la gran elevación que conserva, es probablemente el sector de mayor antigüedad y más denudado de la sierra, lo que se manifiesta en la relativa suavidad que han adquirido las formas de su relieve, así como en la existencia de importantes líneas de fracturación con rumbo SE-NW, propio de los sistemas de dislocación más antiguos.

Está conformado por diversos elementos estructurales de origen volcánico, entre los que destacan por sus dimensiones los grandes domos de Catedral y Las Palomas, el volcán Las Navajas y extensas coladas lávicas. Un número elevado de pequeños domos se intercalan en las partes más altas con acumulaciones de piroclastos, como las del llano Laguna Seca.. La mayor parte de estos componentes estructurales se concentran a lo largo de una franja estrecha

adosada al eje N-S de la sierra. Desde ella parten los flujos lávicos y piroclásticos que descienden de forma gradual hasta el contacto de este complejo con el piedemonte.

2.2.2. El complejo volcánico Las Cruces.

Se localiza al sur del anterior y se extiende desde el citado río Navarrete (afluente del Xinté) hasta el río San Francisco (vertiente al río Hondo), abarcando el tramo montañoso central de la sierra donde la altura es algo menor y sólo excepcionalmente se alcanzan los 3500 msnm. Según Mooser (1995), este complejo se relaciona genéticamente con las emisiones de dos antiguos volcanes, el Chimalpa y el Bobashi -siendo éste último el de mayor importancia y dimensiones-, y se define básicamente como una plataforma de materiales lávicos compactos y acumulaciones piroclásticas, cuyos bordes terminan de forma brusca en escarpes. Aunque otros cuerpos dómicos y volcanes de lava de dimensiones relativamente importantes (correspondientes con los cerros Texcané, Ñangó, Gachupín y Chiluca) prolongan la franja eruptiva hacia el oriente.

En la parte superficial de dicha plataforma se concentran más de una treintena de domos y dos conos volcánicos pequeños (los de La Malinche y Chimalpa), que se apoyan en los restos de antiguos volcanes prácticamente destruidos. Así, el domo Bobashi (Mooser, 1995) ocupa el centro del cráter del que fuese el antiguo volcán de Piedra Grande, del que quedan algunas crestas curvas coronadas por otros domos.

2.2.3. El complejo volcánico San Miguel.

Se localiza en el extremo meridional de la sierra abarcando los elevados y vigorosos relieves de montaña que se extienden desde el río San Francisco, y el propio río Hondo, hasta el límite sur de nuestra área de estudio. Está constituido por una serie de domos y restos de conos volcánicos, de los cuales el más importante y representativo es el San Miguel, junto con algunos elementos

estructurales relacionados genéticamente con el volcán Salazar (Mooser, 1995), localizado ya fuera de nuestro ámbito.

Algunos de los domos son de grandes dimensiones y tienen una clara trascendencia orográfica: como es el caso de la cúpulas lávicas que constituyen los "cerros" de La Palma, El Triángulo y El Muñeco, en los que se alcanzan alturas superiores a los 3800 msnm. Todos ellos se concentran en la parte axial del complejo, muy próxima a la divisoria de aguas de la sierra; no obstante, algunos otros domos importantes, como el del cerro El Ocotal, acompañados de extensas coladas lávicas se encuentran desplazados al este del eje de la cadena en más de 10 km.

En los bordes del complejo se reconocen restos de antiguos aparatos destruidos por las erupciones volcánicas, por fenómenos de colapso y/o por la acción de la erosión. Predominan en ellos los acúmulos de materiales piroclásticos alternantes con flujos de lava, continuamente interrumpidos por cuerpos dómicos y conos volcánicos pequeños -como es el caso de los cerros Cruz Blanca y Santa Rosa-.

La vida eruptiva de este complejo meridional se desarrolló entre el Plioceno y el Pleistoceno superior, siendo en él donde la actividad eruptiva se ha prolongado hasta tiempos más recientes: es probable que la última erupción del volcán San Miguel, datada en 170.000 años, haya marcado el final de la actividad volcánica dentro del ámbito de la sierra (aunque no en áreas muy próximas, como la sierra de Chichinautzin). Con este episodio de actividad relativamente reciente, y de gran intensidad, se relaciona el mayor volumen de los materiales del piedemonte volcánico que se extiende al pie de este complejo.

2.2.4. El piedemonte volcánico.

Es una estructura derivada de la acumulación de enormes masas de vulcanoclastos que se formó durante el Plio- Pleistoceno como consecuencia de las erupciones paroxísmicas que se desarrollaron a lo largo de este período en la franja central y más elevada de la sierra: una parte de los materiales emitidos por los volcanes existentes en esta franja levantada fueron impulsados hacia el

este y se acumularon a sus pies constituyendo una potente y extensa formación de piedemonte, cuya configuración superficial presenta los caracteres de una rampa.

Dado lo dilatado y complejo de su génesis, es imposible en la actualidad reconstruir con exactitud los episodios de formación de este piedemonte compuesto de modo casi exclusivo por materiales clásticos producidos y desplazados por procesos volcánicos. Se puede reconocer, no obstante, que los productos piroclásticos expulsados por los volcanes se acumularon unos sobre otros de forma reiterada a lo largo del tiempo, existiendo dos modalidades principales de depósito, según el tipo de actividad y los caracteres de los materiales involucrados:

- Las cenizas de andesita y la pómez fina fueron transportadas por el aire hasta distancias de más de 30 km de las fuentes de emisión, depositándose como mantos en las bajas laderas y en la base de la sierra.

- Los flujos piroclásticos, lahares e ignimbritas se desplazaron como corrientes superficiales, debido a su alto contenido en agua y gases a alta temperatura. Circularon de forma más o menos canalizada por las laderas hasta el nivel de base, donde se extendieron a manera de grandes abanicos, de cuya superposición deriva en gran parte la adquisición de una morfología de rampa por parte del piedemonte.

La ya señalada duración del proceso y la marcada inestabilidad del área posibilitaron además que, al tiempo en que se acumulaban las capas de materiales volcánicos, éstas eran dislocadas por la tectónica y afectadas por la erosión, lo que aumentó aún más la complejidad de su entramado litológico y estructural.

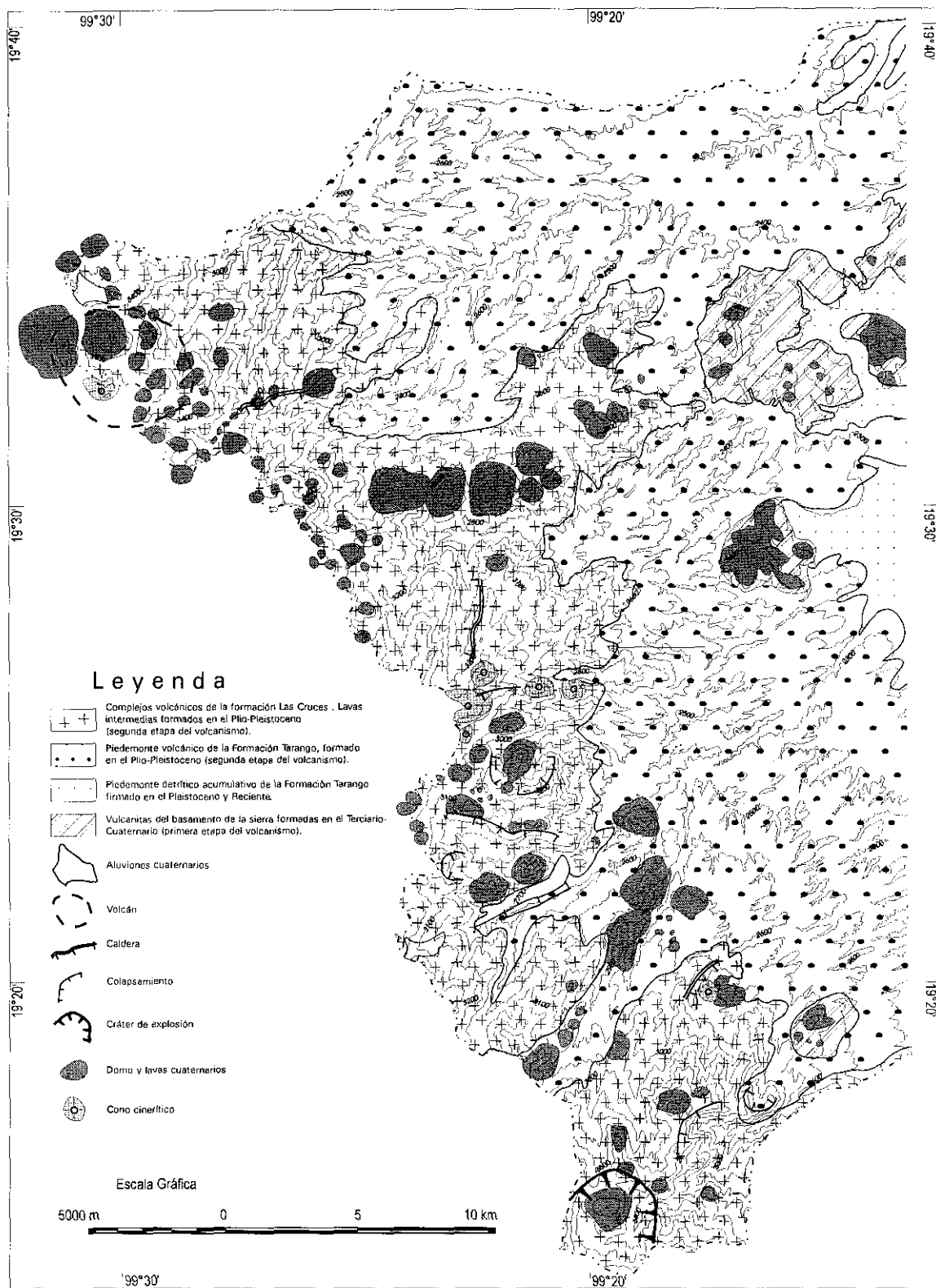
Todo parece indicar, sin embargo, que la erosión se llevó a cabo por procesos moderados y de limitada duración relacionados con la acción eólica, con la arroyada y en menor grado con fenómenos gravitacionales. En todo caso, las formas resultantes tuvieron generalmente un escaso grado de evolución y fueron repetidamente fosilizadas por nuevas erupciones volcánicas. Es por eso por lo que -según evidencia la estratigrafía del área- este piedemonte ha de definirse

como una morfoestructura volcánica, ya que se compone fundamentalmente de vulcanoclastos y muestra una incidencia muy escasa de los procesos externos de transporte y acumulación. La escasez de verdaderos depósitos coluviales, de horizontes de acumulación aluvial, de paleosuelos, de discordancias erosivas marcadas y en general, de signos que indiquen fases de morfogénesis intensa hace suponer que durante la formación de este piedemonte -que alcanza hasta tiempos muy avanzados del Pleistoceno- se mantuvo una continúa actividad volcánica que impidió la evolución de grandes geoformas de origen externo.

2.2.5. El piedemonte detrítico.

Es una acumulación detrítica derivada de la actuación de procesos externos que se sobrepone al piedemonte volcánico y lo prolonga hacia el interior de la Cuenca de México, manteniendo su configuración en rampa. Dado que -como se acaba de señalar- hasta comienzos del Pleistoceno superior los períodos de intenso vulcanismo fueron mayoritarios y estuvieron separados por lapsos cortos de denudación, la formación de esta estructura detrítica al pie de la sierra pudo ocurrir solamente en los últimos tiempos del Cuaternario, cuando la actividad volcánica cesó y los aportes sedimentarios derivados de la erosión de los edificios pudieron ser continuos e importantes en volumen. La intensidad de la denudación y de la acumulación en estos momentos finipleistocenos se debió a tres hechos fundamentales:

- A la elevación y el desnivel alcanzado por los relieves contruidos por el volcanismo, junto con la escasa resistencia mecánica de algunas de las formaciones vulcanoclásticas que los constituyen, de todo lo cual se derivó un aumento del potencial de erosión.
- A los cambios climáticos contrastantes característicos del Pleistoceno, que en ocasiones establecieron unas condiciones morfogenéticas muy agresivas, favorables a una intensa denudación de las vertientes de la sierra.
- A la formación (hace 690.000 años) de la sierra volcánica de Chichinautzin, como consecuencia de la cual se cerró el drenaje natural de la Cuenca de México (que adquirió así su carácter endorreico); ello impidió una eficaz evacuación de



--- Límite del área de estudio
 --- Curva de nivel
 Acotamiento de las curvas de nivel a cada 100 m.

Fuente de la base topográfica: Cartografía a escala 1:50,000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1986.

FIGURA 2.2

MAPA DE LA ESTRUCTURA GEOLÓGICA

Elaboró: Arturo García Romero.

Madrid, 1998

los materiales arrastrados de los relieves volcánicos de la sierra y favoreció la acumulación de los sedimentos y aluviones en la base de ésta.

Durante el desarrollo de este notable proceso de acumulación detrítica se produjeron aún algunas manifestaciones volcánicas locales, que causaron la intercalación o sobreposición de capas de materiales endógenos en los paquetes sedimentarios.

2.2.6. Las estructuras antiguas exhumadas de la base del piedemonte.

Son una serie de pequeños afloramientos constituidos por vulcanitas correspondientes a la más antigua de las etapas de actividad volcánica que aparecen en la parte inferior del piedemonte detrítico y se manifiestan en forma de pequeños cerros (como el de Atlaco) o serretas (como la sierra del Tigre). Se trata de restos de las primeras estructuras de “la formación de la sierra actual” construidas por las erupciones del Plio-Cuaternario, que fueron total o parcialmente fosilizadas por los aportes vulcanoclásticos y detríticos del Plioceno superior y el Cuaternario y que han sido exhumadas por los recientes procesos de incisión y arrastre que están afectando a éstos.

2.3. Los materiales aflorantes.

La gran mayoría de las rocas y formaciones que afloran en la vertiente estudiada son de origen volcánico y pertenecen a una amplia variedad de tipos, aunque los piroclastos son los más abundantes y representativos. Estos materiales, en algunos casos desplazados y re TRABAJADOS por los procesos externos, se generaron en la segunda etapa de actividad volcánica anteriormente señalada, datada en el Plio-Cuaternario.

2.3.1. Los materiales de las antiguas estructuras exhumadas.

Las rocas más antiguas que afloran en el área son vulcanitas que se formaron ya durante la segunda etapa de volcanismo y su presencia queda restringida a las

pequeñas elevaciones situadas al pie de la sierra. En concreto las formaciones volcánicas de mayor antigüedad se encuentran en la cima del cerrito Atlaco y en las laderas bajas de la sierra del Tigre; se trata de secuencias de tobas cristalinas interestratificadas con derrames lávicos y domos de composición ácida (riolita) que en su conjunto presentan una alta densidad de fracturaciones, las cuales han sido aprovechadas por los agentes y procesos de meteorización, manifestando por ello una alta deleznableidad.

2.3.2. Los materiales de los complejos volcánicos de la vertiente superior y las cumbres.

La franja culminante de la sierra, por arriba de los 3000 msnm, está constituida básicamente por una potente acumulación de derrames lávicos, brechas y domos volcánicos, intercalados con capas de pómez, de ceniza y de ceniza de pómez, con tobas volcánicas y, en menor proporción, con surges y flujos piroclásticos, ignimbritas y lahares. El conjunto de estos materiales, de composición química fundamentalmente intermedia (andesitas y dacitas) y de textura notoriamente porfídica, ha recibido el nombre de "Formación Las Cruces" y ha sido interpretado como resultado de una larga sucesión de episodios eruptivos que abarcan del Mioceno superior al Pleistoceno (Mooser, 1974).

La acumulación de estos grandes volúmenes de vulcanitas hizo que los sectores centrales de la sierra se levantasen alrededor de un millar de metros sobre su basamento (más de 990 m a la altura del volcán san Miguel). El espesor de la formación decrece hacia los bordes, donde va quedando recubierta por los materiales del piedemonte; no obstante en la base oriental de la cadena aún cuenta con 550 m de potencia, encontrándose recubierta por 25 m de depósitos vulcanoclásticos y detríticos (Aguayo, 1989).

Por encima de la "Formación Las Cruces" aparecen mantos de tobas y cenizas procedentes de las últimas erupciones acaecidas en la sierra durante el Pleistoceno: las montañas fueron cubiertas entonces por estos materiales sueltos y deleznales, que en la actualidad se conservan en los sectores elevados de pendiente moderada, estando ausentes en los numerosos escarpes y laderas de

fuerte pendiente (donde las rocas, más compactas, de la formación aparecen desnudas).

2.3.3. Los materiales del piedemonte volcánico.

La complejidad es la mejor característica que define la naturaleza litológica del piedemonte volcánico. Entre los materiales que lo componen se encuentran los volcánicos propiamente dichos, los vulcanoclásticos -que son ampliamente mayoritarios- y los clásticos, los cuales se superponen e intercalan de muy diversos modos constituyendo paquetes cuyas características varían continuamente dentro de la extensa rampa adosada a los relieves montañosos y profundamente incidida en la actualidad por la red fluvial. Además su conjunto resultó intensamente dislocado por el tectonismo Cuaternario, lo que ha complicado aún más el establecimiento de la relación estratigráfica de las diversas capas. Debido a ello no ha sido posible hasta el presente esclarecer la secuencia litológica y diferenciar en ella unidades más precisas, por lo que todo el complejo material del piedemonte volcánico se agrupa en una sola formación, la denominada "Formación Tarango"¹ (Bryan, 1948).

Esta Formación Tarango tiene una potencia media de aproximadamente 300 m y está compuesta por capas superpuestas de vulcanoclastos de diverso tipo, con escasos lechos detríticos, y que se muestra interrumpida continuamente por estructuras dómicas formadas por lavas que ascendieron durante la larga formación del piedemonte. Además, pueden encontrarse en toda el área intercalaciones de depósitos fluviales acogidos en paleocauces, pero siempre de escasa dimensión y que -como ya se indicó- apenas son significativos dentro de la voluminosa secuencia de materiales volcánicos, cuyos componentes principales son los siguientes:

¹ Tarango es el nombre de una localidad del pie de la sierra, en la que Bryan identificó uno de los afloramientos más representativos de la secuencia.

- Depósitos de flujo piroclástico y lahar.

Se formaron los primeros a partir de corrientes de piroclastos que fluyeron canalizadas por surcos o valles preexistentes y que se expandieron a manera de abanicos al pie de los complejos volcánicos del sector de montaña. Estos flujos piroclásticos fueron muy frecuentes y caudalosos y en la actualidad afloran en amplios sectores del piedemonte volcánico, desde el enlace con las laderas montañosas, a 2800 msnm, hasta las partes más distales de la rampa, a 2300 msnm.

Consisten en depósitos masivos, con alta densidad de fragmentos gruesos (incluso de tamaño bloque) envueltos en una matriz de textura areno- arcillosa. La composición de éstos es andesítica, adquiriendo coloraciones de gris a rosada en seco, aunque con frecuencia aparecen dentro de ellos elementos de pómez o escoria, lo que se observa con gran frecuencia en los afloramientos de la mitad norte del área. Pero donde estas capas procedentes de flujos piroclásticos alcanzan mayor potencia relativa y están compuestas por fragmentos de mayor calibre es en el sector meridional del territorio estudiado, al sur del río Hondo: en él, los fragmentos andesíticos alcanzan hasta un metro de eje mayor y están embalados en arenas de diversos colores ampliamente utilizadas para la construcción, como las llamadas "arenas rosas", "arenas azules" y la "Cuquita" (Mooser, 1988).

Durante las erupciones que dieron origen a estos flujos se produjeron eventualmente variaciones en la composición de la masa -consistentes en una reducción de la densidad de volcanoclastos-, las cuales ocasionaron la formación de *surges* piroclásticos que han dejado depósitos muy parecidos a los que se acaban de describir y difícilmente diferenciables de ellos.

Comparativamente menos importantes que los flujos de piroclastos son los depósitos derivados de flujos lodosos -o lahares-, cuya presencia está restringida al sector del piedemonte situado al sur del río Hondo. Se formaron éstos tras importantes aportes hídricos durante las mismas erupciones que ocasionaron aquéllos y es de suponer que en el área existieran lahares calientes (movilizados por gases y agua condensada durante las erupciones) y fríos (movilizados por agua pluvial o de deshielo posterior a las erupciones), aunque a través de las

formaciones que han dejado son muy difíciles de diferenciar entre sí. En todo caso, los depósitos de lahar se distinguen en conjunto de los correspondientes a flujos piroclásticos por tener una matriz más fina (mayor contenido en arenas de menor calibre) e incluir grandes bloques angulosos (de hasta 1.5 m).

- Tobas, cenizas y pómez.

Son, junto con los flujos piroclásticos descritos en el apartado anterior, las unidades litológicas más ampliamente difundidas en el piedemonte volcánico. Se formaron en erupciones violentas -de tipo pliniano- durante el Plio-Cuaternario, en las que el magma fue triturado al momento de las explosiones volcánicas y las partículas resultantes proyectadas a gran altura, pudiendo expandirse a manera de mantos que cubrieron radios de hasta 30 km en torno a los centros de emisión. No obstante, como es lógico, la potencia de estas capas de escorias ligeras y cenizas es mayor en los sectores más cercanos a sus fuentes de procedencia, pudiendo reconocerse depósitos masivos de notable volumen, como el que aflora -con 20 m de espesor visible- en los cortes de carretera al sur del pueblo de Acopilco.

Dentro de las tobas se distinguen dos tipos principales: las de color amarillo-ocre, que se formaron tras la meteorización de cenizas volcánicas bajo condiciones climáticas predominantemente frías y que son comunes en afloramientos masivos de todo el piedemonte; y las de color rojo, de textura muy arcillosa, que resultaron de la meteorización de cenizas volcánicas en condiciones de mayor calor, siendo su distribución algo más restringida a la franja alta del piedemonte volcánico (fig.2.2).

Por su parte, los depósitos de pómez y toba pumítica constituyen una unidad litológica frecuente, aunque menos abundante y representativa que las capas de toba lítica, presentándose tanto en depósitos masivos como en lechos finos que se intercalan con los otros componentes de la formación de piedemonte. Con cierta frecuencia se muestran muy alteradas y, junto con las tobas rojas, constituyen materiales muy deleznales y susceptibles a remoción.

- Coladas de lava e intrusivos.

Son materiales magmáticos que se formaron a partir de centros de emisión locales ubicados en los bordes de los complejos volcánicos de la sierra, siendo su volumen y extensión muy reducidos en comparación con los depósitos de flujo piroclástico y las tobas. Dentro de ellos destacan con claridad los cuerpos intrusivos de tipo domo, cuyo ascenso se produjo principalmente en los últimos tiempos del Plioceno y los primeros del Cuaternario (por lo que algunos se presentan intruyendo a varias unidades litológicas del piedemonte). Las lavas que los forman son de composición intermedia y, en algún caso, ácida (riolita) y, aunque tienen pequeñas dimensiones, pueden tener alguna trascendencia en el relieve: este es el caso de los domos de los cerros Teopazulco, Los Padres y Las Víboras, ubicados todos al sur del río Hondo.

2.3.4. Los materiales del piedemonte acumulativo.

Por debajo de los 2400-2300 msnm los materiales del piedemonte volcánico están sepultados por productos de acarreo que se han acumulado al pie de la sierra durante los tiempos más recientes del Pleistoceno, constituyendo una prolongación detrítica de la rampa adosada a los relieves montañosos de la sierra, que sirve ya de enlace con el fondo de la Cuenca de México. Dicha prolongación, más ancha en el tercio norte -donde alcanza entre 8 y 15 km- y que se va estrechando hacia el sur -reduciéndose en el extremo meridional a una franja de menos de un kilómetro-, es resultado de la coalescencia de conos de deyección y abanicos aluviales y, en menor proporción, de la acumulación de escorias y cenizas procedentes de aparatos volcánicos próximos.

Al pie de la sierra de Monte Bajo se han reconocido 120 m de estos aluviones con tamaños de arcilla a grava (Lugo, 1990), apreciándose un aumento paulatino del porcentaje de las arcillas conforme se incrementa la distancia desde la base de la sierra. Se estructuran en lechos cruzados de escasa potencia, entre los que se reconocen lentejones locales de piroclastos retrabajados en gravas, así como capas de piroclastos provenientes de las erupciones cuaternarias.

2.4. La tectónica.

La tectónica que afecta desde mediados de la era Terciaria al borde meridional de la placa de Norteamérica no ha tenido siempre los mismos caracteres sino que ha ido cambiando según el ángulo de colisión con la placa de Cocos y la inclinación con la que ésta es subducida, así como según la intensidad de las presiones acumuladas en profundidad. Concretamente, en la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo dichos cambios se han traducido en la aparición sucesiva de sistemas de fracturación correspondientes a diversos patrones.

De acuerdo con los estudios más recientes (De Cserna, 1988; Mooser 1988 y Vázquez y Jaimes, 1989) y con nuestros propios análisis de las rosas de fracturas (figs. 2.3 y 2.4) se reconoce que los patrones de dislocación mejor representados en el área estudiada son los que orientan sus estructuras al SE-NW, SW-NE y E-W. Los dos primeros, de carácter conjugado, son propios de la actividad tectónica simultánea a la construcción de la sierra y se asocian con el estilo de la subducción dominante en la Trinchera Mesoamericana hasta comienzos del Pleistoceno. El tercero, E-W, es de edad cuaternaria y corresponde al establecimiento de un nuevo estilo tectónico, cuya manifestación más importante es la formación de la vecina sierra de Chichinautzin.

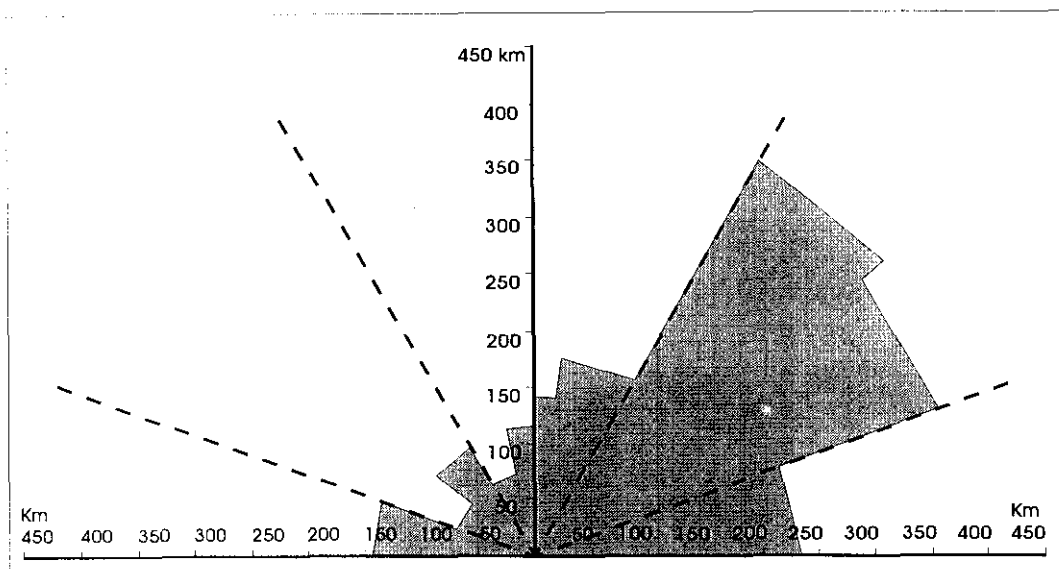


Figura 2.3. Rosa de fracturas general.

En la rosa de fracturas general (fig. 2.3) se observa cómo las fallas con orientación al SW-NE son las más numerosas y representativas, predominando de manera especial las orientadas de 30° a 70° SW-NE, que suman por sí solas el 40% de los lineamientos cartografiados.

2.4.1. Las fracturas de rumbo SE-NW.

El sistema de fallas orientadas al SE-NW se generó durante el Mioceno superior y el Plioceno inferior y es el más antiguo de los que afectan a las estructuras geológicas de la sierra (Mooser, 1970). Debido a ello, la mayor densidad de dislocaciones pertenecientes a él se registra en el área de los complejos volcánicos que conforman el sector de montaña, en tanto que tienen una presencia escasa en los sectores más jóvenes de los piedemontes (fig. 2.4).

Como era de esperar, los restos exhumados de antiguas estructuras miocenas están afectadas por fallas correspondientes a este sistema tectónico, de las cuales la de mayor longitud -reconocida por De Cserna (1988) y por Vázquez y Jaimes (1989)- tiene cerca de 10 km y se localiza al norte de la sierra del Tigre. Dentro del piedemonte volcánico, el único sector que tiene una proporción relativamente alta de fracturas de este viejo sistema SE-NW -junto con una notoria ausencia de fallas más modernas- es el que se extiende a los pies de los complejos volcánicos más septentrionales, lo que apoya la idea, ya enunciada, de que el sector norte de la sierra es más antiguo que el meridional.

2.4.2. Las fracturas de rumbo SW-NE.

El patrón de fracturas orientadas al SW-NE es, en términos generales, más reciente que el anterior y está compuesto por líneas de dislocación generadas del Plioceno medio al Pleistoceno inferior (Mooser, 1986); no obstante la tectónica responsable de él pudo extenderse hasta el Pleistoceno superior en el sur del piedemonte, donde fallas normales y transcurrencias de esta dirección -algunas con expresión en el relieve- cortan materiales datados en 170.000 años (fig. 2.4).

La distribución superficial de estas fracturas es amplia, aunque se aprecia una mayor proporción de ellas en el piedemonte volcánico, sobre todo en la amplia porción de él que se extiende al sur del río Tlanepantla. En ella se distinguen dos conjuntos de líneas de fracturación, de gran desarrollo longitudinal y en disposición más o menos paralela, con la orientación de 30° a 70° SW-NE mayoritaria en el área. Uno de estos conjuntos nace al pie del complejo volcánico San Miguel y recibe el nombre de "Conjunto de Fracturaciones Meridional"; el otro arranca de las laderas del complejo volcánico Las Cruces y es denominado "Conjunto de Fracturaciones Central" (fig. 2.4 y cuadro 2.1).

El primero de ellos, ampliamente estudiado por De Cserna (1988), consta de siete fallas de cizalla, con desplazamiento lateral aparente y un notorio componente vertical, el cual llevó a la formación de fosas y pilares tectónicos (Aguayo, 1989), entre los que destaca un graben situado entre la falla de Contreras y la de Sto. Desierto-Becerra-Tacubaya (cuadro 2.1 y fig. 2.4).

Fallas o fracturas	Orientación	Longitud en km
Conjunto de Fracturaciones Meridional		
1. Hondo*	NE 40° a NE 60°	superficial 14.0
2. Tacubaya- La Piedad*	NE 45° a NE 80°	10.0
3. Sto. Desierto-Becerra-Tacubaya*	NE 40° a NE 60°	17.0
4. Atzoyapan-Mixcoac*	NE 60°	11.0
5. Puerta Grande*	NE 60° a NE 65°	10.0
6. Texcalatlaco-Sn. Angel Inn-Puente colorado *	NE 40° a NE 60°	7.0
7. Contreras*	NE 55°	
Conjunto de Fracturaciones Central		
1. Tlanepantla	NE 30° a NE 40°	5.0
2. El Muerto	NE 30° a NE 60°	7.5
3. Córdoba	NE 30° a NE 60°	8.5
4. Chiquito	NE 30° a NE 40°	8.5

Cuadro 2.1. Estructuras principales de los conjuntos de fracturaciones meridional y central. (*) Los datos se obtuvieron de De Cserna (1988).

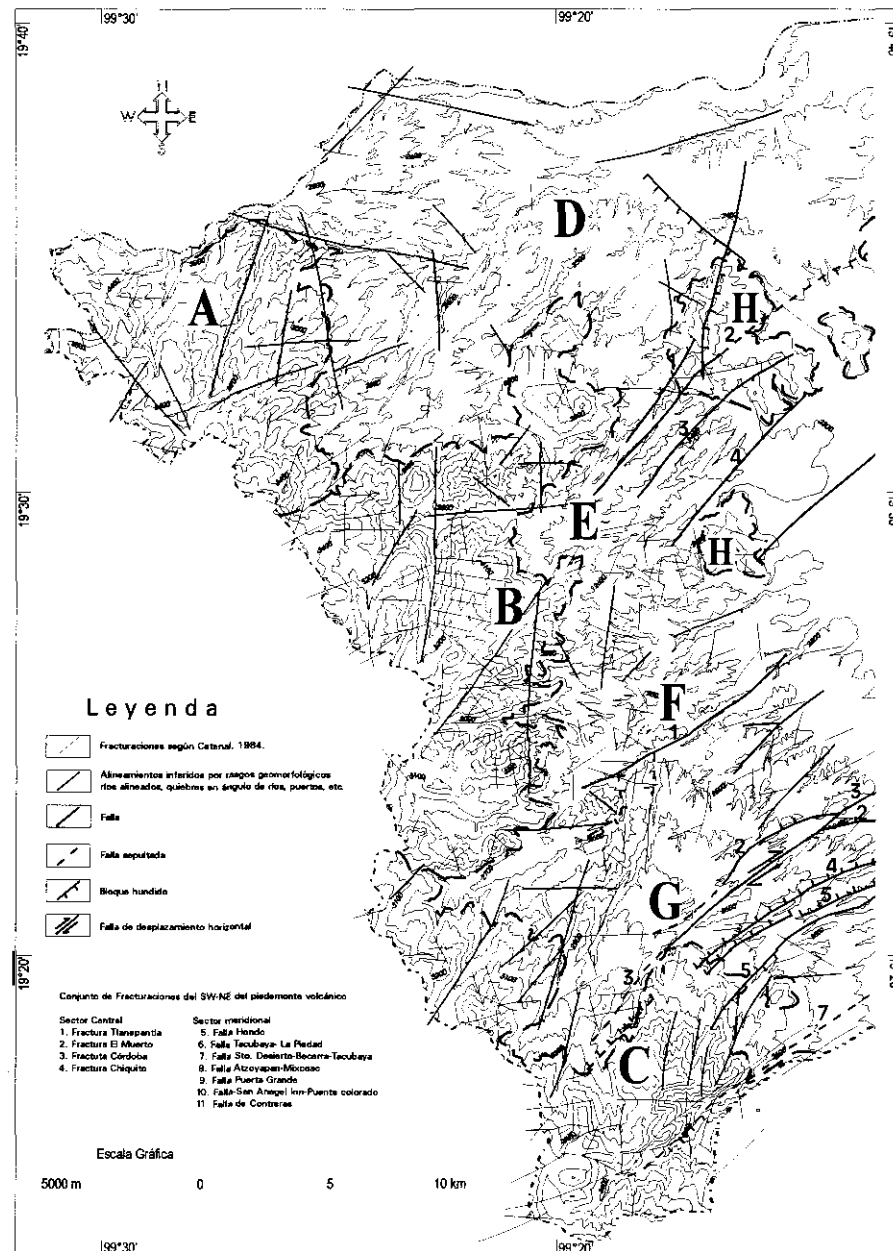
El "Conjunto de Fracturaciones Central" consiste, por su parte, en cuatro estructuras de dislocación de entre 5 y 10 km de longitud. Son, al igual que en el caso anterior, de gran entidad y tienen una notoria expresión superficial. Es de destacar, finalmente, que algunas de estas fracturas SW-NE afectan a los sedimentos del piedemonte acumulativo, lo que indica el mantenimiento de una cierta actividad hasta tiempos muy recientes en ciertas fallas con este patrón tectónico.

2.4.3. Las facturas de rumbo E-W.

Es el sistema de fracturación más reciente de los que se reconocen en el área estudiada y se asocia con esfuerzos tensionales que causaron, durante el Pleistoceno y Reciente, la formación de fallas lítricas y la emisión a través de ellas de lavas basálticas en algunas sierras vecinas (complejos volcánicos de Ajusco, Tlalli, Zempoala y sierra de Chichinautzin). Las fallas cortaron los materiales de la mitad meridional de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, afectando tanto a los de los complejos volcánicos como a los materiales de los piedemontes; no obstante, a diferencia de los patrones tectónicos anteriores y debido tal vez a lo reciente de su formación o a su escaso desnivel, no tiene influencia evidente en el modelado externo.

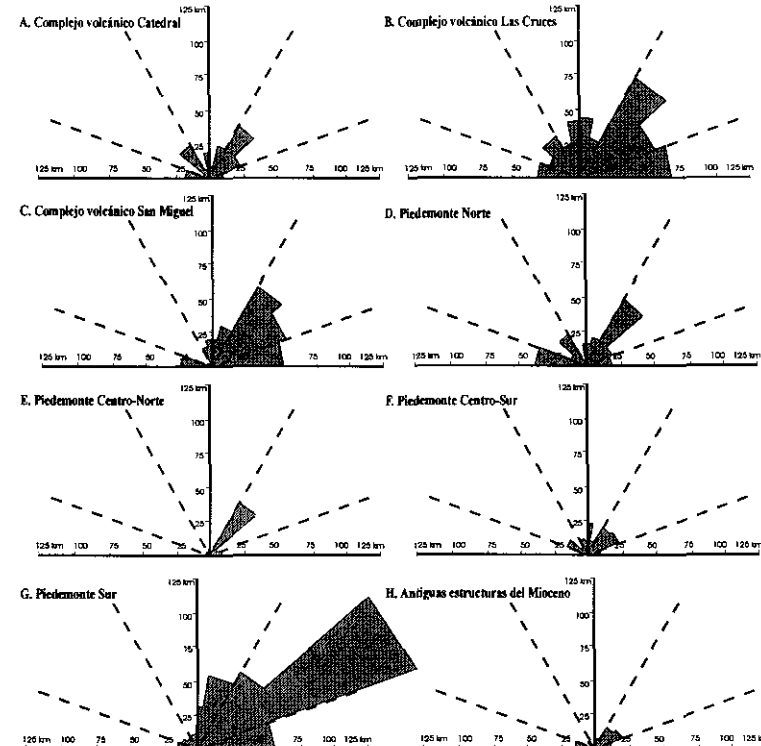
2.4.4. Los focos de actividad tectónica en el presente.

A partir de los dos terremotos que asolaron el centro de la capital mexicana en septiembre de 1985, diversos estudios han destacado la existencia de estructuras activas en el piedemonte volcánico de la sierra. Entre ellos se encuentran los trabajos de Aguayo (1989) y de De Cserna (1988), en los que se reconoce cómo dichas estructuras se concentran al sur del río Hondo y corresponden al denominado "Conjunto de Fracturaciones Meridional". Las siete fracturas de dirección SW-NE que lo constituyen han sido señaladas por diversas fuentes como activas en el Pleistoceno superior y en Zamorano (1995) se indican siete seismos superficiales recientes registrados dentro de este mismo sector.



VERTIENTE ORIENTAL DE LA SIERRA DE LAS CRUCES, MONTE ALTO Y MONTE BAJO

ROSAS DE FRACTURA



— Limite del área de estudio

— Curva de nivel

Acotamiento de las curvas de nivel a cada 100 m.

Fuente de la base topográfica: Cartografía a escala 1:50.000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1986.

FIGURA 2.4

MAPA DE LINEAMIENTOS

Elaboró: Arturo García Romero.

Madrid, 1997

2.5. Los compartimentos morfoestructurales del territorio.

La relación entre los caracteres topográficos básicos del área y los relativos a su organización geológica, litológica y tectónica, pone de manifiesto cómo en ella se articulan tres componentes morfoestructurales mayores (macro-morfoestructuras): a) el área de montaña volcánica, que constituye la parte más elevada próxima al eje de la sierra; b) la rampa de enlace entre la anterior y el fondo de la cuenca de México, de carácter volcanoclástico en sus partes superior y media y de carácter detrítico en su tramo inferior; y c) las elevaciones menores, correspondientes a estructuras volcánicas antiguas, que se levantan al pie de la sierra. Sin embargo, en el ámbito de las dos primeras -que suma más del 90% de la superficie total del territorio- se aprecian suficientes variaciones en cuanto a morfología, dimensión y disposición de los afloramientos y de las estructuras geológicas como para diferenciar con claridad dentro de cada una de ellas una serie de compartimentos o unidades morfoestructurales (morfoestructuras s.s.).

Conforme a este criterio se ha considerado que en el área de montaña existen tres morfoestructuras definibles como macizos montañosos, que se diferencian por su correspondencia respectiva con cada uno de los tres complejos volcánicos anteriormente definidos y que quedan separados entre sí por estructuras de dislocación. Dada su básica coincidencia espacial con los citados complejos generados por el volcanismo Neógeno, se les ha asignado el mismo nombre propio que a éstos: macizo montañoso Catedral, macizo montañoso Las Cruces y macizo montañoso San Miguel (fig. 2.5 y 2.6).

Del mismo modo, la rampa de enlace manifiesta una serie de cambios significativos de norte a sur, referentes a su extensión, a la importancia relativa de sus componentes lito-geológicos (piedemonte volcánico y piedemonte detrítico) y a la composición concreta de los materiales aflorantes, así como al desigual impacto causado por distintos estilos tectónicos de dislocación que han afectado el área. Teniendo en cuenta todo ello se han identificado y delimitado cuatro unidades o morfoestructuras de rampa, a las que se ha designado teniendo en cuenta su posición: rampa Norte, rampa Centro-Norte, rampa Centro-Sur y rampa Sur (fig. 2.6).

Se reparte, pues, el territorio estudiado entre ocho unidades morfoestructurales: tres de carácter montañoso, cuatro constitutivas de una rampa de piedemonte y una -compuesta por enclaves discontinuos- definible como un conjunto de elevaciones menores. Todas ellas se definen y describen en los siguientes epígrafes.

2.5.1. El macizo montañoso Catedral.

Es la porción montañoso más septentrional que coincidiendo prácticamente con los límites del complejo volcánico del mismo nombre, se extiende desde el borde norte del área estudiada hasta el curso alto del río Navarrete, adaptado a una línea de fracturación SW-NE, que lo separa del macizo montañoso de Las Cruces.

La característica topográfica que mejor define este macizo es la existencia de una franja culminante continua y angosta (de unos 3 km de anchura) situada por encima de los 3200 msnm., a lo largo de la cual se suceden "cerros" que llegan a sobrepasar los 3700 m de altura (Las Palomas, Catedral, Las Navajas, Monte Alto, etc.). Dicha franja, que presenta un desnivel de 250 m sobre el resto de la morfoestructura montañoso -y de más de 1000 m sobre el comienzo de la rampa de piedemonte-, se corresponde con dos grandes domos volcánicos (Catedral y Las Palomas) y un volcán complejo (Las Navajas), además de una treintena de domos volcánicos de menor envergadura que se disponen entre ellos.

Por debajo de este sector de cumbres cambian de forma notoria la organización estructural y la morfología del macizo, pasando a predominar una sobreposición de extensos flujos lávicos y piroclásticos que se dirigen al noreste y van perdiendo volumen conforme se alejan de las fuentes de emisión. Como consecuencia de ello, la elevación del macizo disminuye de forma gradual en el mismo sentido (hacia el noreste) y su ladera define un extenso plano inclinado y de bajo gradiente (4° en promedio) que arranca a los 3760 msnm y tiene su base en torno a 2800 msnm (aunque puede descender hasta 2600 msnm en algunos sectores), donde enlaza con la rampa de piedemonte a través de cambios suaves de pendiente (fig.2.5).

Por otra parte, el macizo montañoso Catedral ha de considerarse la más estable de las unidades morfoestructurales que constituyen la sierra. No existen en él líneas de dislocación asociadas con patrones tectónicos recientes y la disposición de los valles que inciden sus vertientes indica una influencia casi exclusiva de patrones de fracturación antiguos, orientados al SW-NE y al SE-NW.

2.5.2. El macizo montañoso Las Cruces.

Este macizo ocupa la porción central de la sierra, desde los cursos del Navarrete y el Xinté, al norte, hasta el curso alto del río San Francisco, al sur, coincidiendo también con el complejo volcánico del mismo nombre sus caracteres difieren sensiblemente de los del macizo Catedral y como consecuencia de ello es muy distinto de él, tanto en su morfología como en la disposición de las estructuras geológicas que lo constituyen.

Desde el punto de vista topográfico este macizo tiene como elemento fundamental una plataforma poco elevada y extensa, accidentada en todo su ancho por mesoformas destacadas correspondientes a más de una treintena de edificios volcánicos y domos, además extensas coladas que en los niveles inferiores se intercalan con piroclastos. La anchura de dicha plataforma es de unos 5 km, es decir, la mitad de la longitud que alcanzan los otros dos macizos (fig.2.5), presentando en su borde una morfología empinada con algunos escarpes de origen tectónico de hasta 350 m de desnivel. Debido a ello, el contacto entre el macizo y la unidad del piedemonte volcánico no se da de forma suave y progresiva, sino a través de bruscas rupturas de pendiente y, por lo común, a alturas inferiores a 2600 msnm (lo que raramente ocurre en los otros macizos).

A pesar de esta morfología ciertamente vigorosa si se la ve desde sus bordes exteriores, es el sector montañoso menos prominente de la sierra, ya que en él las mayores altitudes no superan casi nunca los 3500 msnm y la diferencia de altura entre las cimas y la base topográfica (de unos 600 m por término medio) es la mitad de los valores que se registran en Catedral y San Miguel.

En su extremo septentrional el macizo montañoso de Las Cruces se prolonga hacia el noreste por medio de la alineación constituida por los volcanes y domos Texcané, Ñangó y Gachupín, en la que, si bien no se mantiene del todo el patrón de plataforma antes descrito, se registran los altos gradientes topográficos en los bordes característico de esta unidad.

Toda la superficie del macizo se halla densamente fracturada, predominando las líneas de dislocación orientadas de 30° a 50° SW-NE; sin embargo tienen presencia significativa los otros patrones de fracturación, como el E-W -muestra de la actividad tectónica en el Cuaternario superior- y el SE-NW -responsable de la nítida delimitación del conjunto montañoso por sus bordes-. Fracturas de gran extensión correspondientes a este último sistema tienen una clara expresión topográfica, sobre todo entre los pueblos de Chichicapa y Tepatlaxco, dando lugar a laderas que pueden ser calificadas como escarpes tectónicos.

2.5.3. El macizo montañoso San Miguel.

Es la unidad morfoestructural de montaña más meridional y en la que se encuentran los relieves más elevados del territorio estudiado. Se extiende al sur del macizo montañoso Las Cruces, desde el curso alto del río San Francisco hasta el límite sur del área. Desde el punto de vista orográfico, es el elemento de la sierra más extenso, vigoroso y elevado: su anchura, sólo en la vertiente oriental, es de 10 km, el desnivel de sus cumbres respecto de su base topográfica es superior a 1200 m y en diversas cotas se sobrepasan los 3800 msnm.

Adaptado a la organización estructural del complejo volcánico del mismo nombre, las mayores alturas del macizo San Miguel se registran en los primeros 5-8 km que enmarcan el eje de la sierra, que es donde se concentra la mayor parte de las estructuras dómicas y volcanes. Los mayores de estos domos y restos de antiguos conos (San Miguel, La Palma, El Muñeco y El Triángulo) constituyen los puntos culminantes de toda la sierra; y el resto de las cimas, situadas por encima de los 3400 msnm, vienen a coincidir con otros cuerpos dómicos más pequeños.

Por debajo de este amplio sector de cumbres los domos son escasos y la morfología de las laderas se adapta a las superficies de los flujos lávicos y de piroclastos procedentes de las últimas erupciones del Volcán San Miguel, datadas -como se ha dicho- en 170,000 años. De esta forma, la morfología general del macizo no corresponde con la de ninguno de los dos anteriormente descritos: tiene unas vertientes externas tendidas como el macizo Catedral, pero sin el suave declive característico de las de éste; igualmente, presenta una plataforma culminante extensa, como el macizo de las Cruces, pero carece de los bordes abruptos que le confieran como a éste el aspecto de bloque levantado entre escarpes de falla.

La red de lineamientos tectónicos muestra, por su parte, unos caracteres similares a la que afecta al macizo Las Cruces, siendo predominantes las estructuras orientadas al SW-NE aunque con presencia significativa de los otros patrones de fracturación, sobre todo en este caso del E-W, lo que se vincula con la inestabilidad ligada a la actividad volcánica que se ha mantenido hasta tiempos muy recientes en este sector (y en sus proximidades, ya fuera del área estudiada).

2.5.4. La rampa Norte.

Es el sector de la rampa que tiene su origen en las laderas del macizo montañoso Catedral, quedando separado del resto del piedemonte por el cordal coronado por los "cerros" Gachupín, Ñangó, Texcané, que -como se dijo- prolonga hacia el noreste los relieves más septentrionales del macizo de Las Cruces entre los ríos Navarrete-Xinté y San Luis-Tlanepantla. Se caracteriza por su suave enlace con las laderas de la montaña volcánica -que se realiza a un nivel relativamente alto (2800 msnm por término medio)-, por su reducida pendiente y por su gran amplitud (del orden de 25 km), así como por la menor potencia y la textura más fina de los materiales volcanoclásticos y detríticos de piedemonte que la forman.

Presenta una densidad moderada de líneas de fracturación, siendo las orientaciones más representativas las de 30° a 50° al SW-NE y la de 70° a 90° al SE-NW. La existencia de éstas -y la ausencia de fallas correspondientes a patrones más recientes- sugiere para esta unidad morfoestructural una cierta

estabilidad tectónica, que ha favorecido una evolución geomorfológica bajo ambientes comparativamente más tranquilos que en el resto de la rampa.

2.5.5. La rampa Centro-Norte.

Esta morfoestructura se ubica justo al sur de la anterior, de la que queda separada por el citado cordal de Gachupín-Ñangó, Texcané, y se extiende hasta el curso del río Chiquito, constituyendo el sector de rampa que se coloca al pie de los relieves norteños del complejo volcánico de Las Cruces, del cual retoma algunas de sus peculiaridades morfológicas. Dado que las vertientes externas de éste son muy nítidas y escarpadas, su enlace con ellas es brusco y se produce a menor altura (siempre por debajo de la cota de 2700 msnm) y su anchura es reducida (unos 10 km). Como está constituida por la acumulación de importantes volúmenes de piroclastos de textura gravosa, sus gradientes topográficos son relativamente altos, aunque decrecen rápidamente en dirección a la base.

El aspecto tectónico más relevante en esta unidad morfoestructural es la existencia del Conjunto de Fracturaciones Centrales, compuesta -según se indicó- por cuatro grandes estructuras de dislocación orientadas al SW-NE, y cuya influencia en la evolución de su modelado externo se manifiesta de forma clara. Es de destacar también una casi total ausencia de fracturas pertenecientes a los sistemas tectónicos antiguos (orientados al SE-NW), lo que permite suponer la persistencia de una importante actividad tectónica, al menos desde el Plioceno hasta el Pleistoceno Inferior.

2.5.6. La rampa Centro-Sur.

Se extiende al sur de la anterior, desde el río Chiquito hasta el curso medio del río Hondo y se ubica al pie de la mitad meridional del macizo montañoso Las Cruces, del que derivan algunas de sus peculiaridades morfológicas. Dominada por vertientes que tienen con frecuencia el carácter de escarpes de falla compuestos, esta unidad de piedemonte se desarrolla en niveles altitudinales bajos, alcanzando una cota superior promedio de 2700 msnm. Su anchura es reducida y está constituida por un sustrato de piroclastos texturalmente gruesos

(fragmentos líticos de textura gravosa), presentando notorios decrementos del gradiente topográfico conforme se descende en altitud. Puede decirse, pues, que no presenta grandes diferencias en cuanto a topografía y litología con la rampa centro-norte, antes descrita

Los rasgos que la distinguen de ésta y justifican su tratamiento como unidad independiente hacen referencia a su estructura tectónica: a diferencia de lo que ocurre en el piedemonte del tramo septentrional del macizo de Las Cruces, muestra un claro predominio de las líneas de fractura pertenecientes a patrones tectónicos muy antiguos (de 50° a 70° SE-NW), en tanto que las dislocaciones propias de sistemas más recientes (de 0° a 10° y de 30° a 70° SW-NE) son de escaso desarrollo longitudinal en superficie (inferiores a dos kilómetros). Igualmente, las fallas E-W, que -como se ha dicho- son las más modernas de cuantas afectan a la sierra, tienen muy escasa representatividad.

Así pues, esta unidad de rampa se define por ser un sector particularmente poco afectado por la actividad tectónica cuaternaria y reciente, a pesar de su ubicación dentro de un ámbito y donde los patrones de fracturación más próximos al presente (del SW-NE y del E-W) son dominantes.

2.5.7. La rampa sur.

Se extiende al pie del macizo montañoso San Miguel, desde el río Hondo hasta el límite meridional del área de estudio, siendo los materiales vulcanoclásticos que componen el sustrato de su parte alta probablemente los más recientes del piedemonte, ya que se les asocia con el volcanismo pliniano que terminó hace 170.000 años la construcción del complejo volcánico San Miguel.

A diferencia de las dos rampas centrales, su enlace con la montaña es algo más moderado y se efectúa en niveles altos, en torno a los 2800 msnm. Es bastante extensa, pero registra mayores gradientes topográficos que el piedemonte septentrional. Esta pendiente más acusada se asocia a un sustrato masivo y comúnmente de textura muy gruesa, dentro del que se intruyen domos volcánicos que aumentan su volumen del total (entre los cuales destacan por sus dimensiones los de los cerros Los Padres y Las Víboras).

Desde el punto de vista tectónico, es sin duda la morfoestructura de rampa más afectada por la geodinámica interna del Plio-Cuaternario, en relación con la cual se formaron extensas fallas normales y de transcurrancia. Aunque todas las orientaciones del patrón SW-NE son representativas, destacan las de 50° a 70°. Existen además numerosas fracturas orientadas al E-W, lo que lleva a considerarla también como el sector de mayor actividad tectónica reciente.

2.5.8. Las elevaciones menores.

En esta unidad morfoestructural discontinua se incluyen los relieves moderadamente destacados que se corresponden con restos de antiguas estructuras geológicas que no llegaron a ser sepultados totalmente por los materiales volcánicos más recientes del piedemonte volcánico (y en parte han sido exhumados gracias a la erosión de éstos). Se distribuyen en la porción basal de la rampa de enlace, localizándose preferentemente en su mitad norte donde la potencia de los materiales clásticos es inferior, y pueden organizarse en tres grupos o subunidades: la sierra del Tigre; los cerros de Totoltepec y Moctezuma y el cerro Del Judío.

La edad de estas estructuras -,mayoritariamente domos volcánicos de composición riolítica o dacítica,- oscila entre el Mioceno inferior al superior. Por ello han sido afectadas por las dislocaciones correspondientes a los diversos patrones tectónicos que han actuado en el área desde entonces, siendo más representativas las fracturas orientadas a 30°-50° SW-NE y 70-90° SE-NW. Su morfología está, desde luego arrasada por la erosión. Los materiales del substrato se muestran alterados y triturados por efecto de la meteorización auspiciada por las numerosas líneas de debilidad que los cortan.

2.6 Conclusiones

La organización morfoestructural de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, y en concreto la de la vertiente oriental de la misma, se estableció durante el Plio-Cuaternario como resultado de la actividad eruptiva

correspondiente a la segunda etapa de volcanismo desarrollada en el área. De dicha actividad, dilatada y compleja y cuyos centros de emisión parecen haberse desplazado hacia al sur con el paso del tiempo, -deriva básicamente la construcción de los dos componentes principales que, a escala macro-morfoestructural, constituyen el área estudiada: la montaña volcánica y el piedemonte o rampa de enlace (también de naturaleza y génesis volcánica en su mayor parte). A ellos hay que sumar, aunque con significado mucho menor, un tercer componente formado por los resaltes dispersos de estructuras antiguas que aún afloran y tienen alguna trascendencia geomorfológica en el margen este del territorio.

En la montaña volcánica, situada en promedio por encima de los 2800 msnm y que llega a sobrepasar los 3800 msnm en sus mayores cumbres, se reconocen tres morfoestructuras, los macizos montañosos de Catedral, Las Cruces y San Miguel, que manifiestan una amplia correspondencia con la estructura geológico-tectónica y están limitadas entre sí por importantes líneas de fracturación. La elevación y el relieve vigoroso y prominente son los rasgos característicos de todos ellos y provienen de la concentración en su ámbito de la mayor parte de los focos eruptivos que desde el Plioceno hasta hoy han actuado en la sierra.

Como consecuencia de los distintos caracteres, el distinto modo de evolución e incluso la distinta edad de estos focos de emisión, que se manifiestan en la composición litológica y en la estructura geológica, estos macizos montañosos presentan notables diferencias en su morfología y su organización, remarcadas a veces por los patrones de fracturación que respectivamente los afectan. Debido a la combinación de todos estos factores, el macizo de Las Cruces, ubicado en una posición intermedia entre los otros dos, es el más estrecho y de menor altura (con las cimas en torno a 3500 msnm) pero el que muestra una topografía más abrupta. Por el contrario, los otros dos macizos son más anchos y altos (con cumbres por encima de los 3800 msnm) pero, pese a su mayor desnivel, no cuentan con unas vertientes externas tan nítidas y escarpadas: así, el macizo Catedral, coincidente con el complejo volcánico más antiguo, tiene unas laderas extensas de morfología muy tendida y sus relieves culminantes sólo se elevan sobre ellas en una angosta franja ceñida al eje de la sierra, mientras que el

macizo San Miguel, asociado al volcanismo más reciente, es al tiempo prominente y extenso.

El segundo componente macro-morfoestructural es la rampa de enlace que constituye un relieve de transición entre las montañas de la sierra y la depresión topográfica del fondo de la cuenca de México. En ella, a diferencia de lo que ocurre en los macizos montañosos, no se da una correspondencia tan clara con la estructura geológica, ya que se trata de una macrounidad mixta constituida en su parte alta -por encima de los 2300 msnm por término medio- por materiales de un piedemonte volcánico y en su parte baja por los de otro de tipo acumulativo. Los cambios morfológicos y litológico-tectónicos que se dan en sentido longitudinal dentro de su ámbito son, sin embargo, de gran significación y permiten reconocer la existencia de cuatro unidades morfoestructurales que se suceden de norte a sur a lo largo de la rampa. Se distinguen así una unidad relativamente alta, extensa, tendida y estable -la rampa Norte-, otra relativamente baja, muy corta e inclinada y sensiblemente afectada por la tectónica reciente -la rampa Centro-Norte-, otra relativamente baja, corta, inclinada y también estable -la rampa Centro-Sur y otra relativamente alta, de mediana extensión y pendiente y muy inestable tectónicamente -la rampa Sur-.

Por lo que se refiere a las elevaciones menores que se presentan al pie de la vertiente (sierra del Tigre, cerros Totoltepec, Moctezuma y El Judío), se las ha agrupado en una sola morfoestructura pese a su discontinuidad y a la relativa heterogeneidad de sus caracteres topográficos y litológicos. Al hacerlo se ha tenido en cuenta que todas ellas corresponden a las partes culminantes de antiguas estructuras que fueron parcialmente sepultadas por los materiales del piedemonte y que solamente ocupan una parte muy pequeña y marginal del territorio estudiado.

El establecimiento de esta división de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo en unidades morfoestructurales proporciona un primer marco para avanzar en el entendimiento tanto de su organización como de su funcionamiento globales de la misma, ya que los caracteres y el modo de articulación de las morfoestructuras implican diferencias morfológicas, geológicas y tectónicas que influyen en otras esferas del paisaje.

Entre los parámetros morfológicos son de destacar las diferencias en el volumen y la forma de los compartimentos de la montaña y el piedemonte, aspectos de gran importancia para explicar los gradientes climáticos, hidrológicos y ecológicos en general, ya que afectan al ritmo de movimiento, a la dirección de los flujos de viento y agua y al desplazamiento de material en la vertiente. Por otro lado, los tipos litológicos y el grado de cohesión de las rocas aflorantes en cada unidad, su textura y afectación por dislocaciones y deformaciones tectónicas son factores fundamentales para explicar el modelado externo del relieve, al tiempo que influyen decisivamente en el balance hidrológico y participan en el control de la distribución de suelos y vegetación.

3. El CLIMA.

3.1. Dinámica de la atmósfera.

3.1.1. Los factores relacionados con la localización y la organización topográfica del área.

El comportamiento de la atmósfera baja en la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo está influida, como en cualquier otra parte del mundo, por diversos factores. Entre ellos se encuentran, en primer lugar, los llamados "factores geográficos", como la latitud, la altitud, la distancia al mar y la posición con respecto al sistema de flujos de la Circulación Atmosférica General, y en segundo término las condiciones topográficas de mayor escala derivadas de la organización morfoestructural del territorio, como la orientación, la exposición y la mayor o menor energía del relieve.

3.1.1.1. La influencia de la latitud, la altitud y la continentalidad.

Hay que tener en cuenta, antes de nada, que el área de estudio se localiza dentro de la zona intertropical -a una distancia media angular del Ecuador geográfico de aproximadamente $19^{\circ}30'$ -, lo cual permite que la efectividad de la radiación solar se mantenga en ella más o menos constante durante todo el año (el promedio de la oscilación de las temperaturas medias mensuales es -como se verá- de 5°C). Debido igualmente a ello el Sol pasa por su Cenit dos veces al año (una el 18 de mayo y otra el 26 de julio), de lo que deriva la existencia de dos máximos y dos mínimos de insolación y de temperatura, estando éstos últimos algo retrasados respecto a los primeros.

Con una longitud geográfica de $99^{\circ}20'$ al W del meridiano de Greenwich, destaca su ubicación interior aunque no demasiado distante del mar -se encuentra a una distancia casi idéntica de 300 km de la costa del Pacífico y de la costa atlántica del Golfo de México-, en el extremo meridional de las planicies de

Norteamérica (Grandes Llanuras de Norteamérica y Altiplanicie Central de México). Esta situación hace posible que la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo se vea afectada por la llegada de masas de aire de diverso origen, que por lo general son secas y frías cuando provienen de la Altiplanicie Central y húmedas cuando provienen de alguna de las costas.

La posición central del territorio estudiado dentro de una cadena elevada y alargada de W a E, como es del Cinturón Volcánico Transmexicano, y su desarrollo altitudinal entre los 2250 y los 3860 msnm son otros aspectos de capital importancia climática, ya que las temperaturas registradas en él muestran una notoria disminución respecto de los valores que le corresponderían según su latitud. Además, el C.V.T. representa una barrera física con envergadura capaz de condicionar la llegada a nuestra sierra de masas de aire y de modificar apreciablemente las características de las mismas.

3.1.1.2. La influencia de la organización morfoestructural de la vertiente.

Desde una perspectiva más concreta, la organización morfoestructural de la vertiente y, de manera especial, sus dimensiones, su forma, su orientación y su configuración (globalmente cóncava, con unas laderas superiores de fuerte pendiente y una rampa inferior más extensa y tendida), son factores de gran importancia en el entendimiento de la diferenciación mesoclimática del área en su conjunto y de las variantes que a esta escala se dan dentro de ella.

Si bien es cierto que la morfología de una vertiente influye en las condiciones locales de insolación, presión y humedad del aire, etc., el aspecto más relevante de ésta como factor del clima regional se relaciona con las alteraciones que sufren las masas de aire que ascienden por ella.

La configuración morfológica de la vertiente oriental de la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, a manera de una extensa superficie cóncava con un desnivel de 1.5 km respecto de su base plana, provoca un doble efecto sobre las masas de aire que la abordan por el E y el NE: por un lado, frena progresivamente su avance y, por el otro, las obliga a ascender por las laderas de la sierra con un ritmo creciente (fig. 3.1).

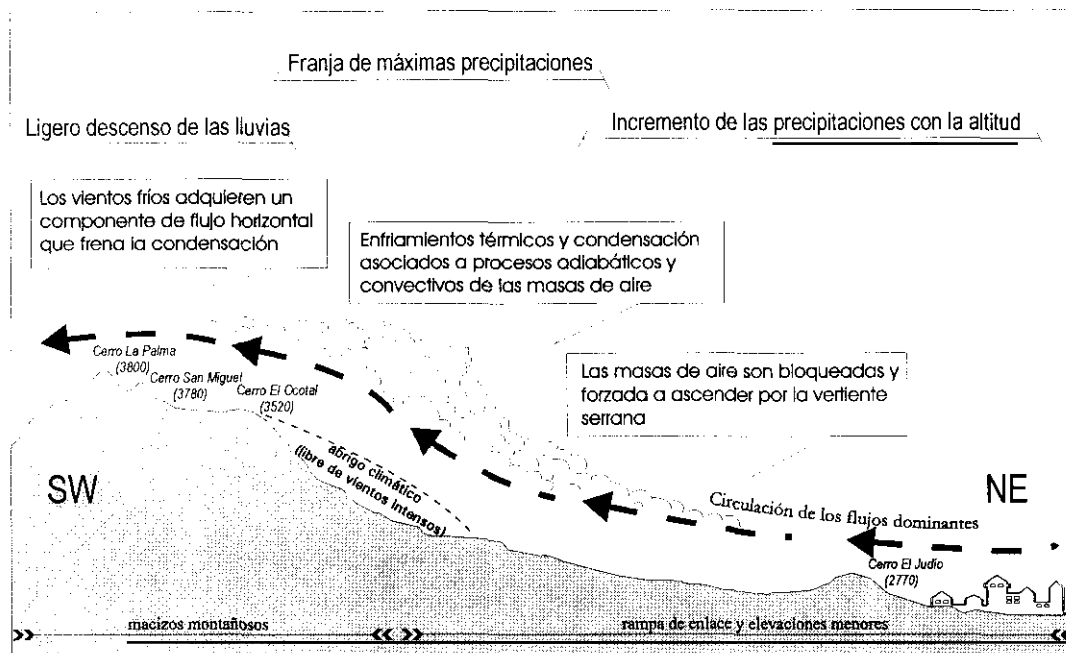


Figura 3.1. Esquema de un corte transversal al eje de la vertiente que ilustra las influencias de la compartimentación morfoestructural en el comportamiento de las masas de aire predominantes

Como consecuencia de este avance ascendente se produce un enfriamiento adiabático del aire y consecuentemente la generación de fenómenos de condensación y precipitación, que se manifiestan con particular intensidad en las laderas montañosas de la parte superior de la vertiente.

Aunque el eje de la sierra es más o menos recto y tiene una disposición perpendicular a la dirección de los vientos de componente E, todas las observaciones indican que el área mejor aireada es la mitad meridional de la vertiente -es decir, toda la superficie situada al sur del cordal transversal formado por los cerros Texcané Ñangó y Gachupín-. En ella el viento entra con mayor velocidad y, además de ascender, se desvía al chocar con los macizos montañosos San Miguel y Las Cruces (fig. 3.7). Es concretamente en la parte central de la sierra, correspondiente al macizo de Las Cruces y a las rampas Centro-Norte y Centro-Sur, donde los efectos orográficos alcanzan su mayor evidencia debido a lo abrupto de las laderas del conjunto montañoso y a lo corto y relativamente inclinado de los piedemontes; todo ello, pese a la menor elevación de la línea de cumbres, ocasiona -como se verá- los más importantes incrementos en los gradientes térmicos y pluviométricos.

Pero, tanto en estas morfoestructuras centrales como en el resto de la sierra, el aumento de la pluviosidad conforme se asciende en altura no es completo ni regular, es decir, una vez que las masas de aire se aproximan a los relieves culminantes de la divisoria el proceso adiabático se frena, disminuyendo los fenómenos de condensación y la cuantía de las precipitaciones, aunque, dada la altura alcanzada, el aire se mantiene frío. Por otro lado, las variaciones morfológicas de las rampas y vertientes montañosas pueden dar lugar a la formación de “abrigos climáticos”, es decir, superficies de relieve cóncavo o deprimido que con frecuencia quedan a cubierto del viento aunque presenten alta pluviosidad y descensos térmicos.

3.1.2. El tiempo atmosférico.

El ciclo anual del tiempo atmosférico en el área se define por la existencia de dos tipos o estados genéricos, que se diferencian fundamentalmente por el grado de inestabilidad y la importancia de los hidrometeoros (de modo secundario por la temperatura del aire) y cada uno de los cuales domina durante aproximadamente una mitad del año: uno es el tiempo húmedo y cálido representativo del verano y otro es el tiempo seco y frío (o fresco) del invierno.

3.1.2.1. El tiempo húmedo y cálido del verano.

Durante los seis meses que van de mayo a octubre la humedad y la temperatura son mayores, coincidiendo con un tiempo en que la inestabilidad es la característica principal de la atmósfera. Ello se debe a la combinación de una serie de hechos (proximidad de la Zona Intertropical de Convergencia, dominio del régimen de alisios, posibilidad de acceso de ciclones tropicales, etc.) que propician la llegada a la sierra de aire con alto grado de humedad e inestabilidad, que suelen imponer sus condiciones sobre las generadas en el interior de la vertiente.

- La aproximación de la Zona Intertropical de Convergencia.

Durante el semestre de verano la Zona Intertropical de Convergencia (Z.I.C.) se encuentra próxima a nuestras latitudes, llegando a situarse a solo 10° de arco hacia el sur del área a comienzos del mes de julio. La convergencia dinámica que en ella se da, sumada al aumento de las temperaturas a nivel del suelo como consecuencia de una radiación solar más intensa, favorece la ascendencia de masas de aire con la consiguiente formación de nubosidad y la abundancia de precipitaciones en la región central de México y, particularmente, en los relieves montañosos como la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo.

Pero este acercamiento de la Z.I.C. no tiene un sólo ciclo a lo largo de cada verano, sino que se registran dos períodos de progresiva aproximación: el primero abarca los meses de mayo y junio y el segundo los de septiembre y octubre. Entre ellos, desde primeros de julio hasta finales de agosto la Zona de Convergencia se aleja hacia el Ecuador, lo que se traduce en una ligera -a veces imperceptible- disminución de las lluvias durante parte de los citados meses centrales del verano. Este período intermedio, normalmente de corta duración, se conoce en México como canícula o sequía intraestival (Jáuregui, 1975) y - como se verá- tiene muy escasa trascendencia en el área de estudio (en las estaciones de observación meteorológica establecidas en ella la canícula representa un decremento de unos pocos milímetros en las medias de las precipitaciones mensuales).

- El dominio de los vientos húmedos del noreste (alisios).

El área resulta también particularmente afectada en el semestre estival por los flujos de la Circulación General que proceden del noreste -los vientos alisios-, lo que tiene gran influencia sobre el tiempo que se registra en la vertiente. En esta época del año los vientos alisios se encuentran muy reforzados y abordan la sierra como masas de aire húmedo a gran velocidad, que son inestabilizadas por el efecto “barrera” de la franja montañosa. Sin embargo, ni la humedad ni la velocidad de estos vientos son las mismas que tenían desde su origen: el área fuente de los alisios se ubica en el anticiclón de Bermuda-Azores, que en esta época del año se sitúa a la altura del Golfo de México; como consecuencia de

ello estas masas de aire entran al país por el noreste y precipitan parte de su humedad en otros obstáculos serranos con alturas de 4000 msnm (pertenecientes a la Sierra Madre Oriental y al C.V.T.), antes de alcanzar la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo.

Pese a todo los vientos del noreste conservan fuerza suficiente para arrastrar consigo las masas convectivas que se forman en el extenso fondo de la cuenca de México, por lo que al llegar al pie de la sierra manifiestan ya un importante grado de condensación y de formación de nubosidad. Penetran en la vertiente a manera de corrientes superficiales relativamente frías y muy húmedas, creando ambientes frescos sobre todo en el interior de los valles y en las laderas altas.

Con cierta frecuencia los vientos alisios presentan perturbaciones de escala regional, conocidas en la climatología mexicana como "ondas del este" y en relación con las cuales se rompe la continuidad del tiempo perturbado y lluvioso estival, ya que se caracterizan por una circulación descendente en su parte frontal o "lluviosa" (con días fuertemente perturbados) y ascendente en la posterior (con días estables y despejados).

- Las perturbaciones ciclónicas estivales.

Otros centros de acción que influyen en el estado del tiempo durante el semestre estival son los ciclones tropicales, que se originan -como parte de la circulación regional- alrededor de los núcleos de baja presión en aguas de los océanos Pacífico y Atlántico, sobre todo a finales del verano y principios del otoño astronómico.

A pesar de que la circulación de tipo ciclónico se disipa cuando penetra en el continente, los efectos meteorológicos que produce se sienten incluso en el centro del país. Concretamente en el área de estudio, su llegada ocasiona situaciones de mal tiempo, con fuerte desarrollo de nubosidad y abundantes precipitaciones, que son características del final de la temporada húmeda estival.

- Los flujos orográficos: los vientos anabáticos.

Como parte de la dinámica atmosférica responsable de los tipos de tiempo en verano se pueden considerar también algunos flujos de aire de escala sub-regional o local, controlados de modo evidente por la organización del relieve. Entre ellos destacan las brisas de origen orográfico derivadas del diferente nivel térmico que se registra en las áreas elevadas de la sierra y el fondo de la cuenca de México. Se trata básicamente de corrientes que ascienden hacia la montaña (vientos anabáticos), los cuales están particularmente bien definidos en esta temporada estival, sobre todo después del mediodía en que se alcanza el mayor caldeamiento de la atmósfera baja en la cuenca.

3.1.2.2. El tiempo seco y frío (o fresco) del invierno.

De noviembre a abril la humedad ambiental, la nubosidad y las precipitaciones así como las temperaturas disminuyen de forma muy significativa en la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo -lo mismo que en las áreas del centro de México que la rodean-. Se diferencia así un semestre invernal caracterizado por el predominio de las situaciones de estabilidad y al que, en contraposición al anterior, se califica de seco y frío (aunque este último calificativo no sea aplicable con propiedad nada más que al tiempo reinante en los sectores de montaña). El dominio de estas condiciones atmosféricas se deriva de la combinación de una serie de factores entre los que destacan los relacionados con el desplazamiento hacia el sur de las grandes zonas de Circulación Atmosférica General, que se produce en esta parte del año.

- El desplazamiento hacia el sur de la Zona Subtropical de Alta Presión.

Durante los meses indicados la Zona Intertropical de Convergencia se aleja de las latitudes del área estudiada, al tiempo que la Zona Subtropical de Alta Presión (Z.S.A.P.) desciende hasta colocarse aproximadamente a los 20° N, estableciendo su dominio sobre la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo. El estado de la atmósfera en ella pasa de este modo a caracterizarse por una mayor estabilidad, la cual se ve favorecida por la disminución de las

temperaturas derivada del descenso de la radiación propio de la época, predominando -al contrario que en verano- los días claros, con decrementos importantes de la nubosidad y, por ende, de la precipitación.

- El dominio de los vientos secos del norte y noroeste.

El citado desplazamiento de la Zona Subtropical de Alta Presión hace que la influencia de los vientos alisios se reduzca al mínimo y que en su lugar prevalezca el sistema de flujos de la Circulación del Oeste, el cual desplaza una serie de masas de aire polar, fundamentalmente continentales, hacia el territorio central de México. Estas masas de aire, que tienen su origen en los centros de alta presión del extremo norte del continente acceden en unos casos de forma directa manteniendo básicamente sus caracteres de sequedad y baja temperatura; en otras ocasiones los vientos que las desplazan penetran en el Golfo de México, donde adquieren humedad, continuando su desplazamiento al sur ya como masas frías y húmedas, conocidas como "nortes", que pueden dar lugar a precipitaciones de importancia (sobre todo en territorios más septentrionales que el estudiado). Estas masas polares alcanzan la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo impulsadas por vientos con claro componente norte y dan lugar a episodios de tiempo frío pero sin precipitaciones; sólo cuando los "nortes" llegan del NE, y abordan la sierra en un sentido más perpendicular, suelen causar algunas precipitaciones, nunca comparables con las del verano.

- La influencia de los centros de baja presión extratropicales.

Las células de circulación ciclónica que, en relación con la Circulación del Oeste, se forman en el norte del país tienden a desplazarse en invierno hacia el sur y pueden alcanzar -ya muy debilitadas- nuestra área de estudio, donde sólo provocan una inestabilidad limitada sin consecuencias pluviométricas importantes.

- Las corrientes de chorro.

En el centro del invierno las corrientes en chorro (*jet streams*) que constituyen el eje de la Circulación del Oeste llegan a rozar el sector central del Cinturón Volcánico Transmexicano, estableciendo durante algún tiempo vientos dominantes del Poniente que, particularmente en la vertiente estudiada -a cubierto de los mismos-, introduce cambios de poca significación que no alteran la básica estabilidad del tiempo. A finales de la estación seca y fría, en marzo y abril (cuando se incrementa considerablemente el caldeoamiento de la atmósfera), estos flujos del Oeste ligados al *jet stream* se hacen muy escasas y débiles al tiempo que se manifiesta un progresivo establecimiento del régimen de los vientos alisios propio ya del sistema de circulación de la estación húmeda y cálida.

- Los flujos orográficos: los vientos catabáticos.

De forma inversa a como sucede en la temporada cálida estival, en invierno las brisas ascendentes (vientos anabáticos) son escasamente apreciables al tiempo que las brisas descendentes (vientos catabáticos) alcanzan frecuencia e intensidad, bajan durante la noche desde las partes altas hasta la base de la sierra. Estos flujos orográficos desplazan por las laderas y la rampa el aire fresco y pesado de las cumbres montañosas y lo acumulan en el fondo cerrado de la cuenca de México, donde -dada la básica situación de estabilidad propia del invierno- puede quedar estancado, dando lugar a marcadas y persistentes inversiones térmicas -que implican un gran riesgo ambiental debido a que impiden la disipación de los gases y otros elementos contaminantes en el centro de la capital-.

3.2. Las fuentes de información meteorológica: las estaciones de observación y sus datos.

3.2.1. La red de observación termo-pluviométrica.

Para el análisis de las condiciones climáticas que se dan en el área de estudio y para la definición dentro de ella de los territorios correspondientes a los distintos tipos de clima se ha dispuesto de los datos proporcionados por un conjunto de 19 estaciones de observación meteorológica situados dentro de su ámbito o en la proximidad inmediata de sus límites. Estas estaciones, en las cuales sólo se realizan los registros termométricos y pluviométricos básicos (en algunos casos nada más estos últimos), no son las únicas que existen y funcionan -o han funcionado- en la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, pero sí las 17 que disponen de datos correspondientes a un período de funcionamiento suficiente como para que los resultados de su elaboración estadística alcancen una adecuada fiabilidad. Dos de ellas, pese a la cortedad de sus series, tienen un particular interés ya que se sitúan en sectores del territorio deficientemente cubiertos desde el punto de vista climatológico. El nombre, la localización, la altitud, la posición topográfica y los años de registro de todos ellos figuran en el Cuadro 3.1.

Cinco de las estaciones se localizan en el área montañosa de la sierra a alturas que oscilan entre los 2800 y los 3470 msnm, situándose una (Santiago Tlazala) en el macizo Catedral y cuatro (La Venta, Desierto de Los Leones, La Marquesa y Cuarto Dínamo) en el macizo San Miguel. Seis se encuentran en el sector alto del piedemonte, entre 2520 y 3000 msnm, y de ellas dos (Sta. M^a Magdalena Cahuacán y San Luis Ayucan) corresponden a la rampa Norte, dos (San Bartolito y La Magdalena Chichicapa) a las rampas centrales y otras dos (Cuajimalpa y Huixquilucan) a la rampa Sur. Cinco se distribuyen por los tramos intermedios de la rampa de enlace y las elevaciones menores que los accidentan, entre 2350 y 2450 msnm, dos de ellas (Colonia V. Guerrero y Presa Las Ruinas) en la unidad septentrional, otras dos (El Salitre y Presa Totolica) en las unidades centrales y una (Presa Mixcoac) en la unidad meridional. Las tres estaciones restantes (Presa Guadalupe, Molino Blanco y Las Arboledas) cubren

Nombre de la estación	Localización			Posic. Topog.	Años de servicio T/P
	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (msnm)		
estaciones en el área de los macizos montañosos					
1.Santiago Tlazala	19°34'	99°25'	2930	Ladera de valle	18/18
3. Desierto de los Leones	19°18'	99°18'	2950	Fondo de valle	18/18
4. La Marquesa	19°18'	99°22'	3300	Vertiente montañosa	12/12
5. Cuarto Dinamo	19°16'	99°18'	3470	Cima montañosa	*/9
2. San Luis Ayucan	19°29'	99°22'	3000	Vertiente montañosa	18/18
estaciones en la rampa de enlace					
19. La Venta	19°20'	99°18'	2800	Sup. de cresta	16/16
14.San Bartolito	19°24'	99°19'	2520	Sup. de cresta	12/18
15.La Magdalena Chichicaspa	19°25'	99°20'	2570	Sup. de cresta	*/18
16. Sta. M. M. Cahuacán	19°38'	99°25'	2600	Ladera de valle	10/17
17.Huixquilucan	19°21'	99°21'	2700	Fondo de valle	19/19
18. Cuajimalpa	19°21'	99°18'	2700	Fondo de valle	18/19
9. Presa Las Ruinas	19°35'	23°50'	2350	Ladera de valle	12/19
10. V. Guerrero	19°58'	99°20'	2400	Ladera de valle	7/18
11.Presa Totolica	19°27'	99°16'	2400	Ladera de valle	19/19
12. El Salitre	19°30'	99°17'	2450	Ladera de valle	19/19
13.Presa Mixcoac	19°22'	99°14'	2450	Ladera de valle	7/7
6. Mol. Blanco	19°29'	99°13'	2266	Planicie	12/29
7.Las arboledas	19°34'	99°13'	2280	Planicie	19/19
8.Presa Guadalupe	19°35'	99°14'	2300	Ladera de valle	19/19

Cuadro 1.- Estaciones de observación meteorológica. (*) Datos calculados a partir de los registros de otras estaciones.

el tramo inferior de la rampa y su enlace con el fondo de la Cuenca, entre 2260 y 2300 msnm.

3.2.2. Las series de datos termométricos y pluviométricos.

La red compuesta por los puntos de observación indicados no tiene, sin duda, una densidad óptima ni cubre de forma equilibrada el territorio, pero constituye un punto de apoyo suficiente para apreciar los gradientes termométricos y pluviométricos verticales y hacer posible una caracterización básica del clima en los distintos sectores de la vertiente. Los datos registrados por ella se refieren - como se ha dicho- sólo a temperatura y precipitaciones, habiéndose tenido acceso exclusivamente a los valores medios mensuales referentes a estas dos variables (Cuadros 3.2a y 3.2b). Desafortunadamente, no se contó con valores máximos ni mínimos, ni con información relativa a otros fenómenos hidrometeorológicos que hubieran sido de interés, como es el caso de las nieblas y heladas, las variaciones diurnas de la temperatura o el volumen de las precipitaciones máximas en 24 horas, en especial las debidas a tormentas, etc. Ello limita, sin duda, la precisión del análisis, pero no impide la aplicación de sistemas de clasificación climática acreditados y con suficiente capacidad de discriminación, como el de Thorntwaite (que es el que se ha utilizado, con resultados satisfactorios) para diferenciar los tipos de clima que se dan en el área estudiada.

Otro factor que limita algo la precisión del análisis climático radica en el tiempo de registro relativamente corto, con un promedio de 15 años para los datos de temperatura y de 17.4 años para los de precipitación (aunque la mayoría de las series cuentan con 18 o 19 años). Sin embargo, esta limitación no ha de ser considerada como muy importante debido a la reducida variabilidad interanual que presentan los valores de dichas series y al hecho de que en la mayoría de las estaciones el registro es continuo y corresponde a un mismo intervalo temporal (desde 1970 hasta 1988 o 1989).

No se ha considerado conveniente aplicar técnicas de normalización ni fórmulas para completar las series incompletas de datos termométricos y pluviométricos basadas en las medias obtenidas en otras estaciones debido a que ello podría

introducir o generalizar sesgos derivados de las condiciones de emplazamiento de los observatorios con período más largo.

Solamente se vio la necesidad de hacer un cálculo indirecto de las temperaturas medias mensuales en dos estaciones (La Magdalena Chichicarpa y Cuarto Dínamo), de gran interés por su ubicación y en las que no se han realizado registros termométricos. Para ello se obtuvo el gradiente térmico por meses para los sectores de la sierra en que dichas estaciones se encuentran (fig. 3.3); el del sector central de ésta en el caso de la primera y el del sector sur en el de la segunda. Considerando las diferencias en altura entre las estaciones con información utilizadas para evaluar dichos gradientes verticales, se obtuvieron las temperaturas medias mensuales reducidas a una altitud de 2500 msnm. A partir de éstas y aplicando el ritmo medio de descenso térmico obtenido al desnivel de cada una de ellas sobre la cota de referencia indicada, se hallaron las medias mensuales y la media anual que se atribuyen a La Magdalena Chichicarpa y a Cuarto Dínamo (y figuran en el cuadro 3.2a).

3.3. Las temperaturas.

3.3.1. El gradiente térmico medio y la distribución de las temperaturas en la vertiente.

Como ya se explicó, el desarrollo altitudinal y la morfología de la vertiente condicionan de forma decisiva las características térmicas. Como consecuencia de estos factores las temperaturas medias anuales más altas se registran en la parte inferior de la rampa de piedemonte -donde en la estación de Presa Guadalupe, a 2300 msnm, se registran 15.8° de media anual- y a partir de ella disminuyen conforme se asciende a la sierra -para quedar en 7.9° en la estación Cuarto Dínamo, a 3470 msnm-; ello significa que en la vertiente oriental de la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo el nivel térmico medio anual se va reduciendo con un ritmo algo inferior, por término medio, a 1° por cada cien metros.

Núm.	Estación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Macizos montañosos														
1	Santiago Tlazala	10,0	10,6	12,7	13,9	14,3	13,6	13,1	13,0	12,8	12,0	11,0	10,3	12,3
2	Desierto de los Leones	8,1	9,0	11,2	12,3	12,3	11,8	11,0	11,1	10,8	10,5	9,6	8,5	10,5
3	La Marquesa	9,0	9,3	10,8	12,0	13,0	13,2	12,1	12,1	12,3	11,1	9,4	9,2	11,1
4	Cuarto Dinamo	6,2	6,6	7,8	9,5	8,1	8,4	7,6	8,3	7,0	8,1	9,2	7,8	7,9
5	San Luis Ayucan	11,8	12,5	14,8	15,7	15,8	14,6	13,8	14,0	13,9	13,9	12,6	12,2	13,8
Rampa de Enlace														
6	La Venta	8,7	9,7	12,2	13,1	13,5	12,8	12,0	11,9	11,9	11,2	9,7	8,7	11,2
7	San Bartolito	10,7	11,8	13,6	15,3	16,0	15,9	15,1	15,2	15,0	13,8	12,1	11,3	13,8
8	La Magdalena Chichicaspá	10,4	10,0	12,9	14,8	15,5	15,5	14,7	14,9	14,6	13,4	11,7	11,0	13,3
9	Sta. M. M. Cahuacán	13,2	13,7	15,3	15,9	15,1	14,6	13,8	14,0	14,4	14,2	13,8	13,8	14,3
10	Huixquilucan	11,3	12,2	14,5	15,8	16,2	15,1	14,0	14,1	14,0	13,4	12,3	11,5	13,7
11	Cuajimalpa	11,1	11,8	14,4	15,2	15,6	14,3	13,2	13,3	13,1	12,9	11,8	11,1	13,1
12	Presa las Ruinas	10,7	11,4	13,6	15,8	17,2	16,8	16,2	16,1	15,5	14,0	12,0	10,8	14,1
13	V. Guerrero	11,7	13,0	15,0	17,0	17,2	17,2	16,0	16,1	16,0	14,9	13,5	12,4	15,0
14	Presa Totolita	11,5	12,6	15,3	16,6	17,2	16,8	16,0	16,0	15,9	14,8	13,0	12,0	14,8
15	EL salitre	11,2	12,2	14,9	16,1	16,5	16,2	15,2	15,3	15,1	14,5	12,6	11,4	14,2
16	Presa Mixcoac	12,9	14,4	16,9	17,7	17,8	17,8	16,5	17,0	16,4	15,8	14,8	12,9	15,9
17	Molino Blanco	11,7	13,2	15,8	17,1	17,6	18,1	16,8	17,1	16,5	15,3	13,5	11,9	15,4
18	Las Arboledas	12,3	13,2	15,9	17,7	18,0	17,6	16,5	16,6	16,4	15,5	13,7	12,6	15,5
19	Presa Guadalupe	12,5	13,7	16,1	17,7	18,3	17,9	17,2	17,3	17,0	15,8	14,1	13,1	15,8

Cuadro 3.2a.- Temperaturas medias mensuales

Núm.	Estación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Macizos montañosos														
1	Santiago Tlazala	14,0	17,4	18,8	50,3	90,8	243,1	257,3	238,1	235,4	97,2	19,2	14,4	1296,0
2	Desierto de los Leones	13,4	13,6	15,0	36,9	103,0	238,6	269,1	271,0	236,5	95,4	14,2	8,8	1315,5
3	La Marquesa	28,3	11,7	18,3	45,8	82,4	259,6	244,1	248,2	196,9	73,3	17,2	13,9	1239,7
4	Cuarto Dinamo	15,0	13,5	22,6	56,3	98,2	199,1	253,5	291,9	250,8	117,0	19,7	10,1	1347,7
5	San Luis Ayucan	12,4	17,8	15,2	42,3	90,7	218,3	234,6	221,9	214,9	96,8	14,8	10,6	1190,3
Rampa de enlace														
6	La Venta	8,4	14,6	12,2	35,3	99,3	234,1	288,2	278,3	250,1	103,1	13,7	8,7	1346,0
7	San Bartolito	9,8	11,9	13,5	31,2	94,6	202,0	270,7	257,9	194,6	78,2	26,6	8,8	1199,8
8	La Magdalena Chichicapa	8,4	7,8	11,0	28,6	70,2	192,9	256,0	238,5	204,0	82,2	12,4	7,5	1119,5
9	Sta. M. M. Cahuacán	6,6	11,9	17,8	43,9	94,8	209,2	233,9	196,4	179,1	81,2	14,9	12,3	1102,0
10	Huixquilucan	11,9	10,2	16,9	33,7	83,0	229,1	246,3	234,9	180,4	79,3	11,9	8,1	1145,7
11	Cuajimalpa	11,2	7,4	12,4	27,4	85,0	222,3	271,6	261,7	213,7	76,9	10,8	6,1	1206,5
12	Presa las Ruinas	6,7	6,7	9,4	28,3	68,8	145,2	168,9	151,6	120,3	56,8	9,4	5,4	777,5
13	V. Guerrero	7,0	8,7	12,8	27,9	69,8	150,0	167,9	151,6	132,8	60,5	12,0	8,2	809,2
14	Presa Totolica	6,1	7,0	9,9	27,1	65,8	177,1	221,5	198,0	160,5	63,4	10,2	6,3	952,9
15	EL salitre	6,5	8,3	9,8	23,0	65,6	160,5	178,0	154,9	143,2	62,7	10,0	6,5	829,0
16	Presa Mixcoac	16,3	3,1	3,2	29,8	65,4	130,6	204,2	173,9	135,4	83,3	19,7	6,4	870,3
17	Molino Blanco	7,2	4,9	8,3	21,5	54,5	107,2	137,6	131,5	119,0	45,7	14,8	7,1	659,3
18	Las Arboledas	6,9	7,7	8,4	23,6	66,4	151,7	147,3	149,7	124,8	52,1	7,3	4,1	750,0
19	Presa Guadalupe	6,2	6,5	11,8	25,3	62,7	141,4	149,3	129,4	110,5	50,3	7,4	6,3	707,1

Cuadro 3.2b. Precipitaciones medias mensuales.

El mapa de isotermas medias anuales (fig. 3.2) está compuesto, pues, por líneas más o menos paralelas entre sí y perpendiculares a la línea de mayor pendiente, lo que pone de manifiesto el marcado control topográfico de las temperaturas. Puede decirse así que como norma general, las medias anuales son superiores a los 16° por debajo de la cota 2300 msnm, esto es, en el enlace de la rampa con el fondo de la cuenca; que en la mayor parte del piedemonte oscilan entre los 16° y los 14°, valor que se registra en torno a 2600 msnm; y finalmente que en la cabecera de la rampa y las laderas montañosas inferiores va descendiendo de los 14° a los 12°, registrándose esta media anual a 3000 msnm aproximadamente. Aunque los registros son más escasos, parece claro que la temperatura media desciende con rapidez en las laderas altas, situándose en torno a los 8° a los 3500 msnm, altura que no superan muchas de las cumbres; en las reducidas áreas culminantes cuya altitud es superior a la indicada faltan estaciones de observación, pero -aplicando el gradiente medio obtenido- ha de pensarse que la temperatura media del año se encuentra entre los 8° y los 5°.

Esta norma general se encuentra, sin embargo, matizada de modo apreciable por la configuración de las morfoestructuras que constituyen la vertiente: en las rampas centrales y en la rampa Sur -de mayor inclinación y dominados por macizos limitados por fuertes escarpes- el gradiente vertical de las temperaturas es más marcado que en la rampa norte, ya que la morfología más vigorosa de aquéllas favorece la formación de nubosidad y una más acusada reducción del nivel térmico hacia su parte alta (fig. 3.3).

Hay que hacer mención también a la existencia de algunas anomalías en el ritmo de disminución de la temperatura a lo largo de la vertiente relacionables con el uso del suelo y, en concreto, con la ocupación urbana de los sectores bajos de la misma. Estas anomalías, consistentes en el registro de medias anuales más elevadas de lo esperado en estaciones situadas en estos sectores inferiores -como es el caso de la de Presa Mixcoac, que a 2450 msnm roza los 16° (un grado más de lo que le correspondería)- se relaciona con la deforestación y con su inclusión en la masa urbana de la capital.

Aunque -como se explicó- no ha sido posible disponer de series fiables de datos referentes a temperaturas máximas y mínimas medias, se puede señalar -de acuerdo con la información proporcionada por M. Meza (sin publicar)- que la

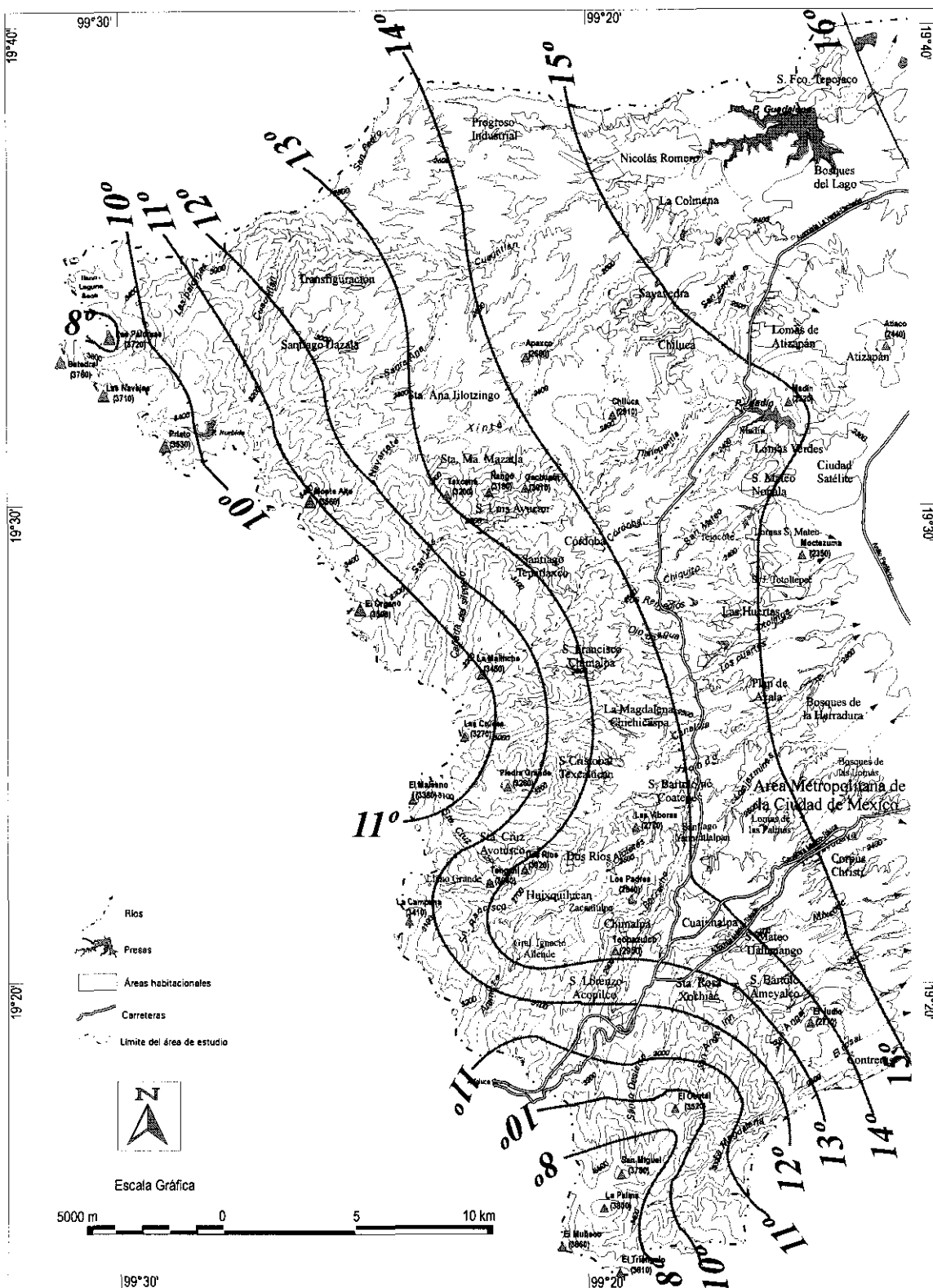


FIGURA 3.2

MAPA DE ISOTERMAS MEDIAS ANUALES

Fuente de la base topográfica: Cartografía a escala 1:50.000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1986.

Elaboró: Arturo García Romero.

Madrid, 1998

media anual de las máximas alcanza los 26° en la parte media de la rampa de enlace, a unos 2500 msnm; los 24° en la parte superior de ésta, a 2600 msnm; y los 20° en la porción media de las laderas de montaña, a 3200 msnm. En cuanto a la media anual de las temperaturas mínimas, los 4° se encuentran a 2500 msnm y los 0° a 3200 msnm, registrándose valores negativos en las áreas montañosas culminantes situadas por encima de esta cota.

3.3.2. El ciclo termométrico anual.

El análisis del ciclo anual de las temperaturas medias lleva a definir el clima de la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo como subisotérmico: la diferencia entre la más alta y la más baja de las medias mensuales - correspondientes a mayo y a enero respectivamente- no llega nunca a 6° (la mayor amplitud térmica media registrada es 5.8 ° en la estación de Presa Guadalupe, una de las más bajas del área). Y este rasgo es más marcado en los altos relieves montañosos de la sierra -,donde la abundante y frecuente nubosidad atenúan el nivel térmico durante la estación húmeda estival- que en la rampa de enlace, donde -con una nubosidad menos densa el caldeamiento puede ser mayor- los valores de las temperaturas medias se incrementan más durante los meses de la primavera y el verano (fig. 3.4).

La temporada relativamente más fría del año abarca los meses del invierno astronómico y enero suele ser el mes en que se registra el nivel termométrico más bajo. La menor de las temperaturas medias de este mes registrada en el conjunto de los observatorios utilizados es de 6.2°, que se ha medido -como era de esperar- en la estación de Cuarto Dínamo, la de mayor altitud (3470 msnm) de todo el territorio; ello permite deducir que en las áreas culminantes de los macizos de Catedral, Las Cruces y San Miguel la temperatura media se sitúa, en el centro del invierno, entre los 5° y los 6°. En la parte baja de las laderas de la montaña, de los 2900 a los 3300 msnm, las estaciones de observación registran en enero temperaturas medias de entre 8° y 12°. Y, ya en la rampa de piedemonte, éstas medias del mes más frío varían normalmente de 11° a 13°, aunque de forma local pueden alcanzar valores algo superiores o apreciablemente inferiores.

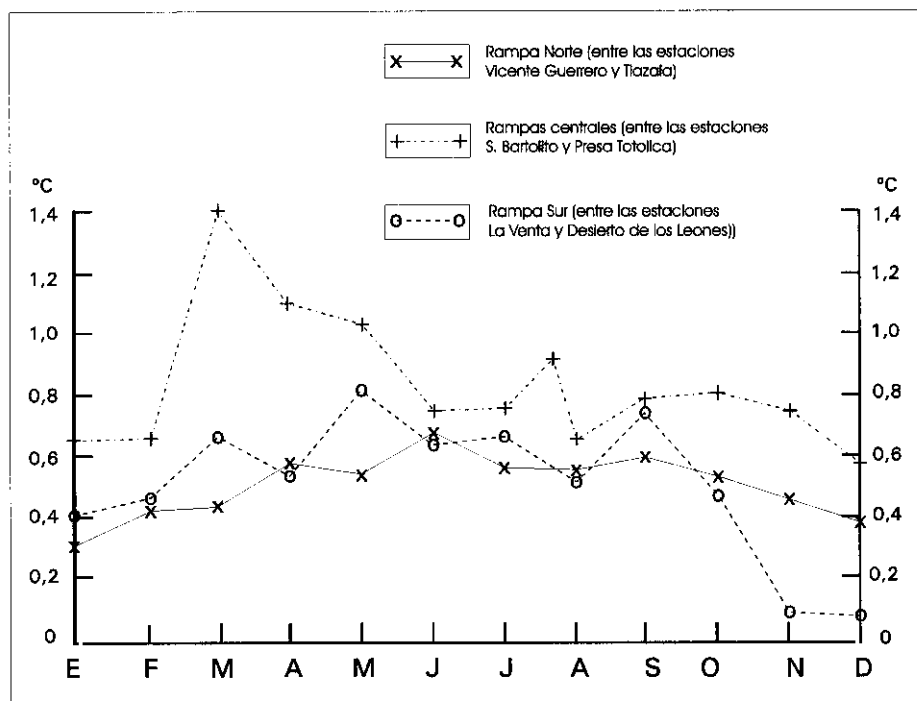


Figura 3.3. Variación anual del gradiente térmico en tres sectores de la rampa de enlace.

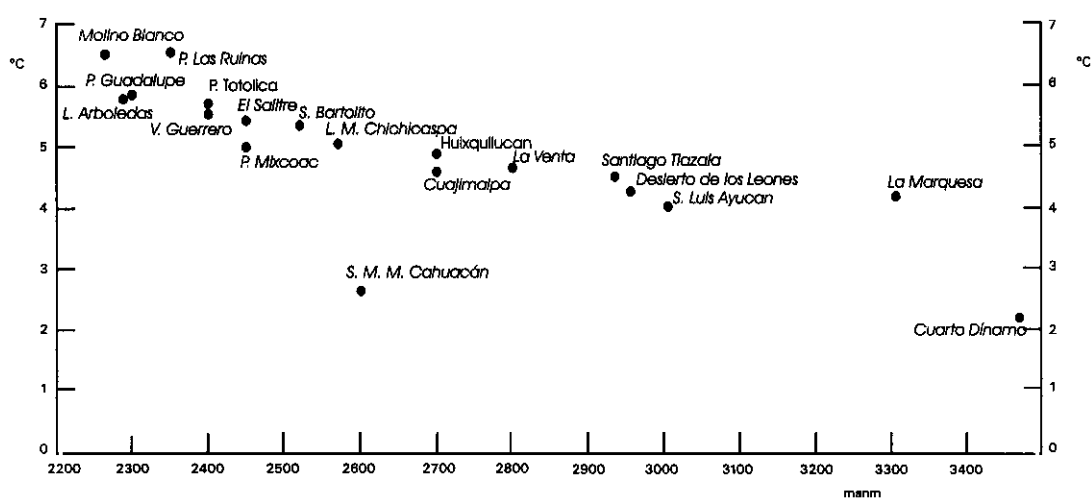


Figura 3.4. Variación altitudinal de la oscilación térmica de las medias mensuales

A partir de enero se observa en todos los sectores de la vertiente un moderado pero continuo incremento de las temperaturas medias, destacando el salto más apreciable entre febrero y marzo, en el que éstas aumentan más o menos dos grados centígrados en todas las estaciones, salvo en las más bajas del piedemonte inferior donde este incremento intermensual puede sobrepasar los 3°.

A lo largo de la primavera las temperaturas medias siguen ascendiendo, aunque presentan aumentos cada vez menos significativos debido al efecto refrescante de las primeras lluvias de la estación húmeda. De este modo, el primer máximo en la curva de las temperaturas medias se alcanza normalmente en mayo, pudiendo en algunos casos adelantarse a abril o retrasarse a junio. Los valores más altos de este máximo termométrico de mediados o final de primavera se registran, como es lógico, en la parte baja de la rampa donde las estaciones de Molino Blanco, Las Arboledas y Presa Guadalupe superan los 18°. Frente a ello, en las laderas del sector de montaña varían entre los 16° y 12° y, en las áreas culminantes pueden no alcanzar los 10°.

Al llegar las primeras semanas del verano, la estación lluviosa ya está bien establecida, por lo que el aumento de humedad y de nubosidad -que es frecuente después del medio día- mitigan los efectos térmicos de la insolación. Así, a partir de ellas se registra un continuo descenso de las temperaturas medias que se prolonga hasta julio, en que se localiza el mínimo secundario de la curva termométrica; un mínimo muy poco marcado, ya que suele ser poco más de un grado centígrado por de bajo del valor obtenido en mayo. Inmediatamente después, en agosto, un nuevo incremento de las temperaturas permite alcanzar el segundo máximo de la curva de temperaturas medias mensuales, que igualmente es muy poco significativo (ya que sólo supera en unas pocas décimas de grado centígrado el valor del mínimo secundario de julio). Posteriormente, durante el otoño y la primera mitad del invierno, la marcha anual de las temperaturas medias se caracteriza por un continuo descenso desde los 15°-17° de la rampa inferior, los 12°-15° de la rampa superior, los 11°-14° de las laderas montañosas y los 7°-10° de las áreas culminantes hasta llegar de nuevo al mínimo principal de enero (fig. 3.5).

Cabe señalar, finalmente, que -de acuerdo con los datos disponibles- el gradiente térmico vertical se hace menos regular en algunos meses y manifiesta variaciones apreciables a lo largo del ciclo anual de las temperaturas medias, con la tendencia a ser más marcado durante el verano y a atenuarse algo en el invierno (fig. 3.3).

3.4. Las precipitaciones.

3.4.1. El gradiente pluviométrico y la distribución de los totales pluviométricos anuales.

De la misma forma que ocurre con las temperaturas, la distribución de la pluviosidad está influida por los cambios que el aire, más o menos cargado de humedad, sufre cuando asciende por la rampa y las laderas montañosas de la sierra. Puede decirse que la distribución y el volumen de las precipitaciones que se reciben en el área tienen un marcado carácter orográfico y que, debido a ello, se tornan más intensas hacia las partes medias y altas de la vertiente.

Así, los totales medios anuales de las 19 estaciones de observación utilizadas varía entre los 659 mm de Molino Blanco (la más marginal y baja de todas, a 2266 msnm) y los 1347 mm de Cuarto Dínamo (la más próxima a las cumbres y situada a mayor altura, 3470 msnm). En el mapa de isoyetas (fig. 3.6) se observa cómo los volúmenes medios de agua precipitada aumentan conforme a la altitud, disponiéndose las líneas más o menos paralelas entre sí y perpendiculares a la línea de mayor pendiente.

La parte inferior de la rampa de enlace (por debajo de la cota 2400 msnm aproximadamente) es el área menos lluviosa, con una pluviosidad inferior a 800 mm al año; esto es, algo más de la mitad de la que llega a alcanzarse en el sector montañoso. Por encima de la citada cota 2400 msnm el gradiente pluviométrico inducido por la orografía se hace evidente y marcado, de forma que la isoyeta de 1000 mm se sitúa ya en torno a la cota 2700 msnm, correspondiente o muy próxima al enlace de la rampa con las laderas de los macizos montañosos. Según se asciende dentro de ellos la pluviosidad sigue aumentando, superándose los

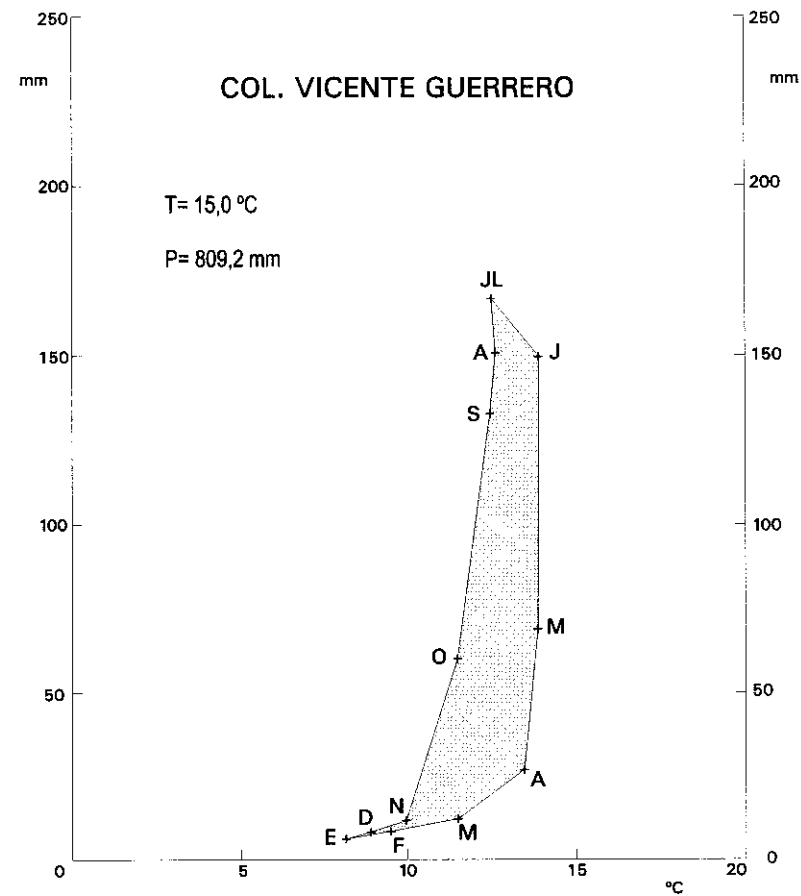
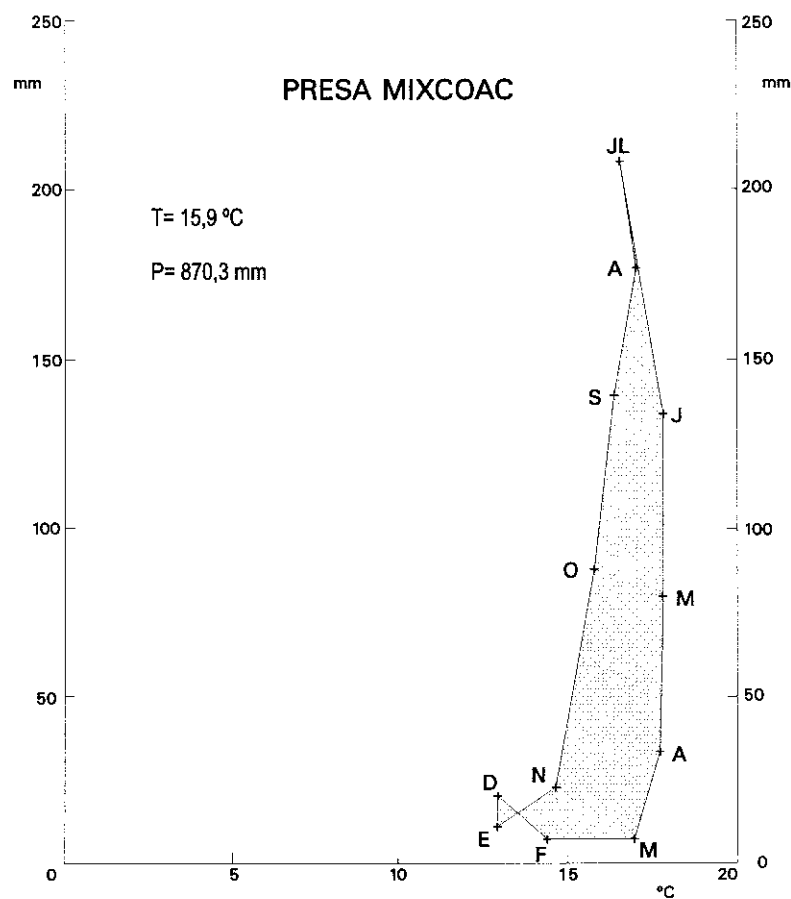
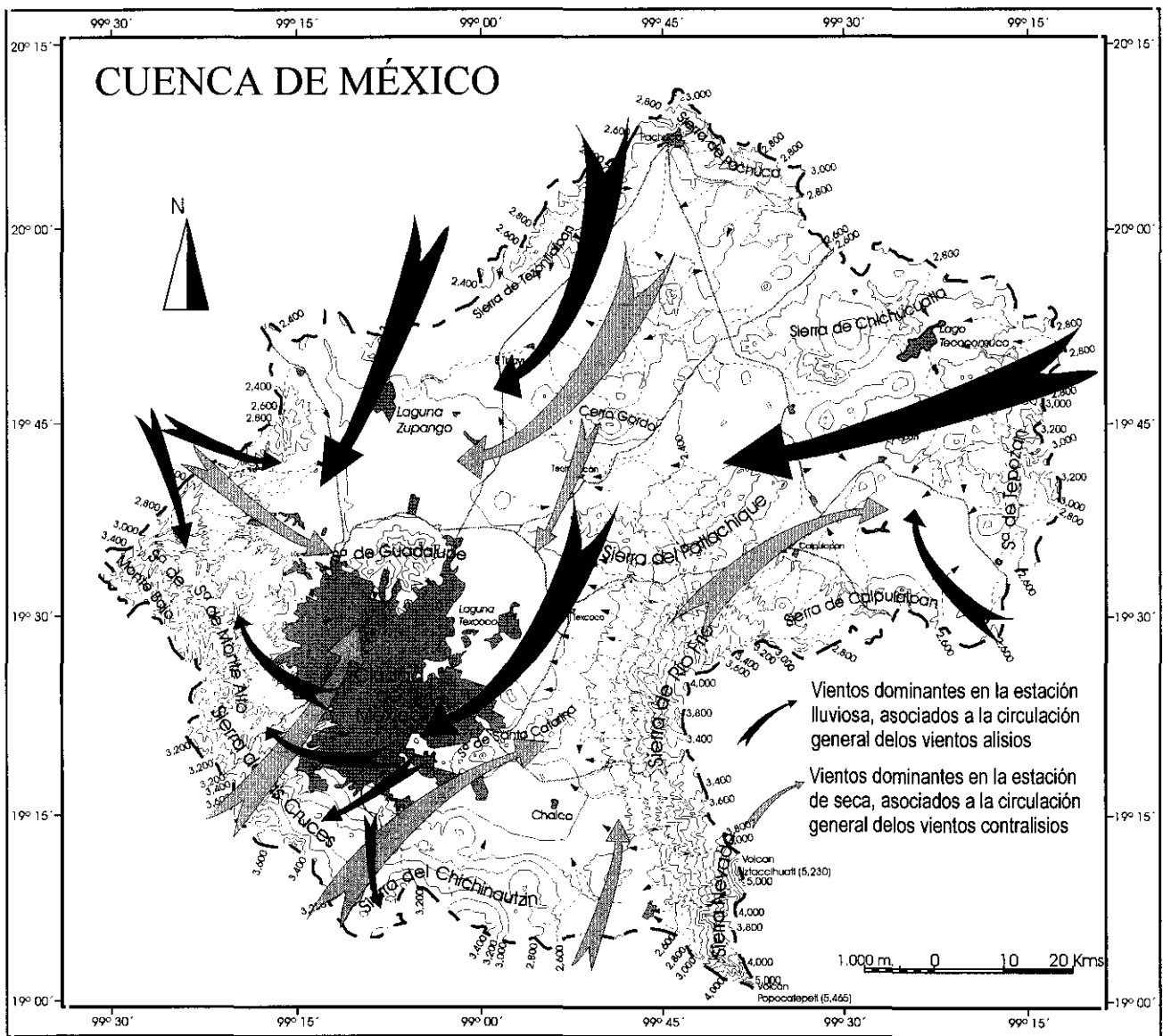


Figura 3.5. Climodiagramas de las estaciones meteorológicas Presa Mixcoac y Col. Vicente Guerrero. El descenso de las temperaturas de julio corresponde con la canícula estival. Los picos térmicos de abril y agosto se asocian al paso del sol por el cenit del área de estudio.

1200 mm anuales a 3000 msnm y los 1300 mm a 3200 msnm. En las partes más altas de la sierra, por encima de los 3300-3400 msnm, todo parece indicar que el gradiente pluviométrico se reduce al mínimo o incluso se invierte: la diferencia entre los totales pluviométricos medios anuales de las estaciones de Desierto de los Leones -a 2950 msnm- y Cuarto Dínamo -a 3470 msnm- es sólo de 33 mm; y más arriba de esta última se observa un cambio en la vegetación natural en la que pasan a predominar especies con mayor tolerancia a la falta de humedad (como es el caso del *Pinus Hartwegii*).

Es de destacar por otro lado que, mientras en el sector montañoso no se aprecian cambios significativos en cuanto a pluviosidad total entre los macizos que en él se suceden (al menos con base en los datos disponibles), sí se observan diferencias de interés al comparar los valores pluviométricos de los sectores norte, centro y sur de la rampa de enlace. De esta comparación se deduce que en ella la pluviometría va incrementándose moderadamente de norte a sur. Por ejemplo, mientras que en la estación Presa Mixcoac ubicada en la rampa sur la precipitación media anual es de 870 mm, en la estación Col. V. Guerrero, ubicada en la rampa septentrional en condiciones altitudinales y topográficas similares, se queda en 809 mm.

Se puede así considerar la existencia de dos sectores de la rampa pluviométricamente diferenciados, siendo el límite entre ambos la ya citada alineación transversal formada por los cerros Ñangó, Gachupín y Texcané. Al sur de este cordal la vertiente se orienta casi perpendicular a los vientos húmedos del noreste y la rampa se encuentra dominada por los relieves más vigorosos de la sierra; es por ello que esta parte central y meridional es más lluviosa que la septentrional, en la que el trazado de los relieves montañosos es menos perpendicular a los sistemas del noreste y la convección del aire es un proceso más gradual debido al suave enlace del piedemonte con la montaña y a la forma tendida de las laderas de ésta (fig. 3.7).



Fuente: Meza, M. (en prensa).

Figura 3.7. Circulación de vientos en la Cuenca de México.

3.4.2. El ciclo pluviométrico anual.

La distribución de las precipitaciones a lo largo del año se caracteriza en la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo por un fuerte contraste estacional, diferenciándose de forma evidente una estación lluviosa (entre mayo y octubre) y otra seca (entre noviembre y abril). En la primera de ellas se recibe por término medio el 85 % del volumen anual de agua precipitada y sólo en su cuatrimestre central (junio, julio, agosto y septiembre) se concentra alrededor del 70% de dicho volumen.

A finales de la estación seca, en el mes de abril, la pluviosidad media oscila entre 25 mm y 50 mm (sobrepasándose este valor sólo en las altas laderas próximas a los 3500 msnm). Y nada más comenzar la temporada lluviosa, en mayo y junio, se registra un acusado aumento en el volumen de las precipitaciones por el que en cada mes se duplican o triplican los valores registrados en el mes anterior. En julio el incremento es menor, pero es en éste cuando se registran casi, sin excepción, las pluviosidades medias mensuales más altas del año; sólo en algunas localidades de la parte baja de la rampa de piedemonte este máximo de la curva pluviométrica se adelanta al mes de junio, mientras que en los sectores más elevados de los macizos montañosos (por encima de los 3300 msnm) puede retrasarse hasta agosto.

En este mes central de la estación lluviosa se reciben por término medio entre 140 y 200 mm de lluvia en las partes inferiores de la rampa y entre 200 y 300 mm en el resto del territorio, siendo en la estación meteorológica de Cuarto Dínamo donde se registra el valor más alto (291 mm como media mensual de agosto); sin embargo, aunque las altas vertientes de la sierra -de las que esta estación es representativa- son las más favorecidas por estas lluvias de mediados de verano, no faltan lugares de mediana altura pero con topografía accidentada en las que se alcanzan medias mensuales por encima de los 250 mm (este es el caso de las estaciones de San Bartolito, La Magdalena Chichicarpa y Cuajimalpa).

Este fuerte incremento pluviométrico de la primera parte de la temporada de lluvias está condicionado por el predominio creciente de los sistemas de vientos húmedos del noreste, que arrastran consigo a otros sistemas menores de tipo

convectivo ascendente que se forman en el fondo de la cuenca de México o incluso en la propia vertiente. Este régimen de circulación tan favorable a las precipitaciones va remitiendo en septiembre y octubre, dando paso a otro caracterizado por la llegada de perturbaciones asociadas a los ciclones que arriban a las costas del Atlántico o del Pacífico y que producen aguaceros copiosos, tormentas y chubascos de granizo, los cuales mantienen en principio la pluviosidad media mensual en niveles aún importantes pero menores que los de los meses precedentes. Así, septiembre registra en los diversos sectores de la vertiente unos valores pluviométricos muy levemente inferiores a los de julio o agosto.

Es en octubre cuando se registra el mayor decremento de las lluvias, pasándose a medias mensuales del orden de la mitad o la tercera parte de las de septiembre. Este descenso -que lleva la pluviosidad media a 40-60 mm en la parte inferior de las rampas, a 60-90 mm en la parte superior de las mismas y a 90-120 mm en los conjuntos montañosos- se explica por la recesión de la circulación del noreste, por la llegada menos frecuente de las perturbaciones asociadas a ciclones y por el mayor predominio de los sistemas de vientos secos del oeste, pasando los "Nortes" a convertirse en los principales proveedores de humedad al concluir la estación lluviosa y comenzar la estación seca.

Dado el carácter muy esporádico de estas situaciones propicias a las precipitaciones, ya en noviembre la pluviosidad desciende bruscamente en todo el territorio y se sitúa en los niveles característicos de la nueva estación: la media mensual de este mes no llega a los 10 mm en el piedemonte inferior, oscila entre los 10 mm y los 15 mm en el piedemonte superior (con algunas excepciones locales, como San Bartolito y Presa Mixcoac, donde se sobrepasa esta última cifra) y sólo alcanza entre 14 mm y 20 mm en los sectores de montaña. A partir de este nítido cambio de estación -en el que, de una vez, el volumen mensual de las lluvias se reduce a una sexta o una séptima parte del que se recibía al final del período anterior- el descenso de los valores pluviométricos se mantiene, aunque es menos acusado, hasta diciembre o enero, meses en los que se registra la media mensual más baja del año, que representa sólo el 0.6% o 0.7% del total anual. Y es, de nuevo, en la parte inferior de la vertiente estudiada donde esta ausencia de lluvia de final de año es más marcada: por ejemplo, en la estación meteorológica de Las Arboledas (a 2280 msnm) el

volumen medio de agua recibida en el mes de diciembre, a lo largo de una serie de 19 años de registro, es de 4.1 mm.

A principios del año las precipitaciones manifiestan un ligero aumento que difícilmente se traduce en incrementos de la media mensual superiores a los 15 mm, excepto en las partes más elevadas de la montaña (representadas por las estaciones de Desierto de los Leones, San Luis Ayucan, La Marquesa y Cuarto Dínamo), donde se sobrepasa dicho valor. A partir de marzo, sin embargo, la progresión de los volúmenes pluviométricos es mayor, llegándose en abril a los moderados niveles que se indicaron al comienzo de este epígrafe y que -como se dijo- se ven bruscamente multiplicados en mayo y junio, al entrar la estación de lluvias.

Hay que destacar, finalmente, que la práctica totalidad del agua de precipitación recibida en el área tiene forma de lluvia: como el régimen pluviométrico se caracteriza por una muy fuerte concentración de los aportes en verano y por una casi total ausencia de éstos en los meses más fríos del año, la precipitación en forma de nieve es un fenómeno extraordinario en la sierra de las Cruces y Monte Alto, incluso en las mayores alturas de sus macizos montañosos (donde, en el centro del invierno, las condiciones térmicas serían muy favorables para ello). De acuerdo con los datos proporcionados por M. Meza (en prensa), por encima de los 3000 msnm se puede formar aguanieve, sobre todo cuando se conjuntan masas de aire húmedo del noreste y frío del norte, pero sin llegar nunca a cubrir el suelo. En estos sectores culminantes sí son muy frecuentes las heladas y neblinas, que alcanzan particular intensidad en ambientes locales favorables a la conservación de la humedad como son las cuencas altas y el interior de los valles y barrancos.

3.5. Los tipos climáticos y su distribución.

La aplicación del sistema de clasificación climática de Thornthwaite a los datos termométricos y pluviométricos permite apreciar cómo el territorio estudiado se reparte entre 9 tipos climáticos, que van desde los fríos y muy húmedos de las partes altas de la vertiente hasta el templado y subhúmedo de las partes bajas del piedemonte (cuadros 3.3a y 3.3b). No obstante, teniendo en cuenta la gran

similitud de algunos de ellos (apreciable a través de su "fórmula") se los ha agrupado en 4 tipos genéricos, a cada uno de los cuales le corresponde una zona bien definida de la vertiente. Estas zonas vuelven a poner de manifiesto el marcado control orográfico (o morfoestructural) del clima en el área, ya que se disponen en forma de franjas paralelas entre sí y perpendiculares a la línea de mayor pendiente. Debido a ello se las ha dado un nombre en que se combinan sus rasgos distintivos con una referencia a la unidad o subunidad geomorfológica en que se encuentran. De esta forma tenemos que el área de montaña corresponde a un solo tipo climático genérico -el "Frío y muy húmedo de alta montaña"-, mientras que la rampa de enlace (incluyendo las elevaciones aisladas que la accidentan) se divide en tres franjas correspondientes a otros tantos tipos climáticos genéricos -el "Semifrío y húmedo del sector alto de la rampa de enlace", el "Fresco y semihúmedo del sector medio de la rampa de enlace" y el "Templado y subhúmedo del piedemonte inferior y del nivel de base"- (cuadros 3.3a y 3.3b y fig. 3.9).

3.5.1. El clima frío y muy húmedo de alta montaña.

Afecta a la porción más alta de la vertiente, desde la divisoria principal de la sierra -que constituye el límite occidental del área de estudio- hasta una cota situada entre los 2800 y los 3000 msnm, y con algún matiz diferencial se ha reconocido en cinco de las estaciones de observación meteorológica utilizadas. Cuatro de ellas se concentran en los relieves montañosos del extremo meridional del área (La Venta, La Marquesa, Desierto de los Leones y Cuarto Dínamo), mientras que en la mitad norte sólo se registra en la estación Santiago Tlazala, correspondiente al macizo Catedral.

En los climodiagramas de la figura 3.8a se observa cómo se trata de un clima francamente frío -el más frío de la sierra- y subisotérmico: con una media anual que varía entre 8° y 11°, durante el invierno las temperaturas medias mensuales descienden de los 10°C y en el verano no suben de 15°C.

Ha de calificarse también de muy lluvioso y con marcada concentración de los aportes pluviométricos en verano: la precipitación media anual varía entre algo menos de 1200 mm y algo más de 1300 mm, la mayor parte de los cuales se

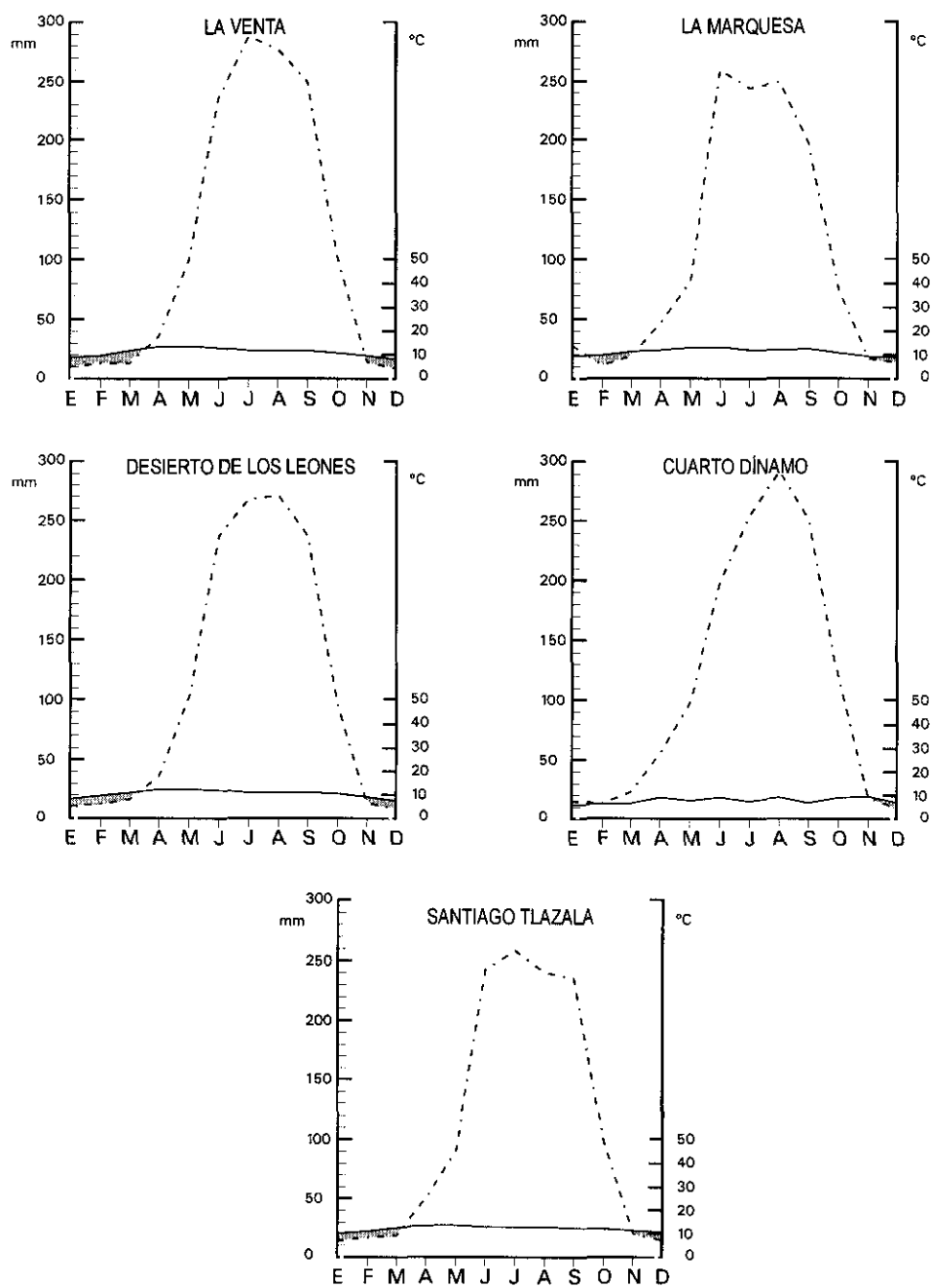


Figura 3.8a. Diagramas ombrotérmicos de Gaussen, correspondientes a la franja de clima frío y muy húmedo de la alta montaña.

Zona climática	Estación	I	ETP	s	meses	d	meses
Frío y muy húmedo de alta montaña (1)	La Venta	41,48	622,05	893,97	6	170,02	6
	Santiago Tlazala	46,99	649,26	789,73	6	142,94	6
	Desierto de los Leones	37,23	607,74	871,29	6	163,53	6
	La Marquesa	40,52	627,56	735,87	6	123,73	6
Frío y muy húmedo de alta montaña (2)	Cuarto Dinamo	24,04	564,79	913,34	6	123,86	6
Semifrío y húmedo del sector alto de la rampa de enlace	San Bartolito	56,29	676,07	696,45	6	172,72	6
	La Magdalena Chichicaspá	53,14	685,47	576,34	5	205,31	7
	Sta. M. M. Cahuacán	59,07	699,47	626,6	6	224,07	6
	Huixquilucan	55,48	689,19	664,58	6	208,07	6
	Cuajimalpa	52,12	664,08	759,27	6	216,85	6
	San Luis Ayucan	55,98	671,97	717,57	6	199,24	6
Semifrío y semihúmedo del sector medio de la rampa de enlace (1)	Presa Totolica	62,5	709,9	483,15	5	240,15	7
	Presa Mixcoac	40,56	627,56	429,77	5	182,03	7
Semifrío y semihúmedo del sector medio de la rampa de enlace (2)	Presa Las Ruinas	58,72	705,78	298,42	5	226,7	7
	V. Guerrero	63,70	727,78	314,77	5	237,31	7
	El Salitre	59,1	697,81	635,04	5	233,84	7
Templado y subhúmedo del sector inferior de la rampa de enlace	Molino Blanco	66,26	716,38	205,75	4	262,78	8
	Las Arboledas	66,96	727,83	290,64	4	268,47	8
	Presa Guadalupe	69,46	747,39	234,58	4	274,87	8

I = Índice de calor anual

ETP = Evapotranspiración ajustada según la longitud del día

s = Superávit hídrico anual

d = Déficit hídrico anual

Cuadro 3.3a.- Resumen de cálculos para la clasificación de climas según el sistema de Thornthwaite.

Zona climática	Estación	Ih	Ia	Im	%J.J.A.	Tipo de Clima
Frío y muy húmedo de alta montaña (1)	La Venta	143,71	27,33	127,31	29	AC'2wa'
	Santiago Tlaxala	121,63	22,01	108,42	30	AB'1wa'
	Desierto de los Leones	143,36	26,9	127,22	29	AC'2wa'
	La Marquesa	117,25	19,71	105,42	30	AC'2wa'
Frío y muy húmedo de alta montaña (2)	Cuarto Dinamo	161,71	21,93	148,55	28	AC'2wa'
Semifrío y húmedo del sector alto de la rampa de enlace	San Bartolito	103,01	25,54	87,68	31	B4B'1wa'
	La Magdalena Chichicaspá	84,07	29,95	66,10	31	B3B'1wa'
	Sta. M. M. Cahuacán	89,58	32,03	70,36	26	B3B'1wa'
	Huixquilucan	96,42	30,19	78,30	29	B3B'1wa'
	Cuajimalpa	114,33	32,65	94,74	28	B4B'1wa'
	San Luis Ayucan	106,78	29,65	88,99	25	B4B'1wa'
Semifrío y semihúmedo del sector medio de la rampa de enlace (1)	Presa Totolita	68,05	33,82	47,75	30	B2B'1w2a'
	Presa Mixcoac	68,48	29,00	51,08	30	B2C'2wa'
Semifrío y semihúmedo del sector medio de la rampa de enlace (2)	Presa Las Ruinas	42,28	32,10	23,02	32	B1B'1wa'
	V. Guerrero	43,25	32,60	23,68	30	B1B'1wa'
	El Salitre	52,31	33,51	32,20	31	B1B'1w2a'
Templado y subhúmedo de piedemonte inferior y del nivel de base	Molino Blanco	28,72	36,68	6,71	31	C2B'1w2a'
	Las Arboledas	39,93	36,88	17,79	30	C2B'1w2a'
	Presa Guadalupe	31,38	36,77	9,31	30	C2B'1w2a'

Ih = Índice de humedad

Ia = Índice de aridez

Im = Índice hídrico anual

%J.J.A. = Relación entre la evapotranspiración de junio, julio y agosto, respecto al total anual en %.

concentran en los meses estivales (en los que se superan los 200 mm de media, destacando julio que puede registrar valores por encima 250 mm).

Según la terminología propia del sistema de clasificación climática de Thornthwaite este clima de los altos macizos de la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo es de tipo "perhúmedo", con un déficit moderado de humedad, que se produce durante los meses del invierno. Desde el punto de vista de la eficacia térmica, es de tipo "microtérmico moderado" con una clara tendencia a tornarse "mesotérmico de transición" (o semifrío) en la mitad norte del área debido al caldeamiento algo mayor que se aprecia en ella durante el invierno. Como corresponde a la latitud intertropical en que se ubica el territorio, esta eficacia térmica se reparte a lo largo de todo el año, de modo que en los tres meses centrales del verano -junio, julio y agosto- se registra sólo un 30% del total anual de la misma (siendo éste un carácter que se manifiesta común en todas las zonas o subregiones de la sierra y del piedemonte).

La evapotranspiración potencial (ETP) presenta en este clima de alta montaña intertropical unos valores notablemente bajos, los más bajos del área estudiada: la ETP media anual es inferior a 630 mm en los cinco observatorios indicados, con la única y moderada excepción de Santiago Tlazala -con 649 mm-, debido quizá a factores locales. En relación con ello el período con superavit hídrico potencial tiene una duración de 6 meses, la mayor del área, y se registran Índices de Humedad (Ih) superiores a 100 en todas las estaciones de observación situadas en este ámbito.

Las condiciones de frío no demasiado marcado y elevada humedad propios de este clima derivan en buena medida de la organización morfoestructural del territorio. Se da en las unidades de relieve que el volcanismo y la tectónica han puesto a mayor altitud dentro de la vertiente y donde -por las razones que se han indicado, los efectos convectivos de las masas de aire tienen las mayores consecuencias de enfriamiento y aporte de humedad. Asimismo, influyen decisivamente en la presencia de una densa vegetación natural arbórea en la mayor parte de las laderas, lo cual puede en alguna medida limitar la insolación y favorecer el mantenimiento de un ambiente particularmente fresco y húmedo, en el que la estación seca resulta corta y poco definida.

La aplicación del gradiente térmico a los reducidos sectores que sobrepasan la cota 3400-3500 msnm -en los que no existe ninguna estación de observación meteorológica, aunque la de Cuarto Dínamo puede representar el límite o transición- lleva a considerar muy probable que en ellos la temperatura media anual descienda hasta los 5° o 6° y las temperaturas medias mensuales difícilmente superen los 8°. Esta consideración resulta apoyada por hechos de tipo biogeográfico (como la sustitución de las comunidades de *Abies religiosa* por bosques abiertos de *Pinus Hartwegii*) y geomorfológico (como la congelación estacional del interior del suelo y la frecuente segregación de agujas de hielo), por lo que resulta justificado reconocer el dominio de una variante algo más microtérmica en estos enclaves culminantes de alta montaña. Los mismos criterios llevan a pensar que dicha variante se caracteriza también por un descenso -poco notable- de las precipitaciones debido a que el proceso adiabático del aire cesa en el nivel de cumbres (al tiempo que el viento superficial se desplaza con más libertad, causando una mayor sequedad en el ambiente).

3.5.2. Los climas de la rampa de enlace.

Por debajo de los 2900-3000 msnm se identifican tres tipos climáticos genéricos que se suceden de arriba a abajo y corresponden respectivamente a las partes superior, media e inferior de la rampa de enlace, presentando conforme se desciende en altitud unos tintes cada vez más cálidos y secos. Esta sucesión climática es más rápida y brusca y sus componentes están mejor definidos en la mitad sur de la rampa; por el contrario, en la mitad norte la morfología más tendida de la misma da lugar a una transición gradual entre las zonas y permite que éstas tengan una mayor extensión.

3.5.2.1. El clima semifrío y húmedo del sector alto de la rampa de enlace.

Este tipo de clima reina en una franja que va de los 3000 msnm a los 2700 msnm en la mitad septentrional de la vertiente y de los 2900 msnm a los 2500 msnm en la mitad meridional, definiendo el sector más fresco y lluvioso de la rampa de enlace. Para su reconocimiento y estudio se cuenta con los datos de

seis estaciones de observación, que se distribuyen de forma desigual: cuatro se encuentran en las unidades del sur (San Bartolito, La Magdalena Chichicapa, Cuajimalpa y Huixquilucan) y dos en las del norte (San Luis Ayucan y Sta. M. Magdalena Cahuacán).

En los climodiagramas de la figura 3.8b destaca su nivel térmico "fresco", con la temperatura media anual entre 13°C y 15°, combinado con una marcada isoterminia: las medias mensuales sólo en algún caso superan los 18° y los descensos térmicos del invierno no llevan los valores medios por debajo de los 10°. Ello se combina con unos volúmenes pluviométricos que son los más altos de la rampa y se sitúan entre 1200 y 1300 mm anuales. Al igual que en la inmediata montaña, la principal característica del régimen de precipitaciones es la gran abundancia de éstas en verano, en el cual varios meses superan los 200 mm de media, y la escasez de éstas en invierno, con promedios mensuales inferiores a 10 mm.

Según el sistema de clasificación de Thornthwaite se trata de un clima "húmedo" de transición a "muy húmedo" con una ligera falta de humedad en el invierno, pudiendo reconocerse dos variantes: una en los sectores más cercanos a las laderas de los macizos (representada por las estaciones de Cuajimalpa y San Luis Ayucan), en la que las condiciones de humedad son mejores, rozando pero sin llegar a un tipo climático A; y otra en el resto de la rampa superior, algo menos húmeda y correspondiente ya de forma plena al tipo B. Desde el punto de vista de la eficacia térmica ambas variantes son de tipo "mesotérmico" atenuado, no muy distinto del que se aprecia ya en algunas partes de la montaña. No obstante, a diferencia de lo que ocurre en ésta, la evapotranspiración potencial media se sitúa entre 670 y 700 mm anuales -aproximadamente 100 mm más que en las laderas y cumbres- y el índice de humedad (Ih) difícilmente sube de 100, acumulándose durante la estación de lluvias un exceso potencial de agua de unos 600 mm, que sirve para paliar en parte la sequedad propia del invierno.

El reconocimiento detallado de su paisaje vegetal hace pensar que dentro de esta porción más alta de la rampa existen enclaves particularmente húmedos que podrían salir en algunos de sus componentes fuera del marco del tipo climático descrito. Ello parece estar en relación con el hecho de estar profusamente incidida por valles que se orientan en la misma dirección de los vientos

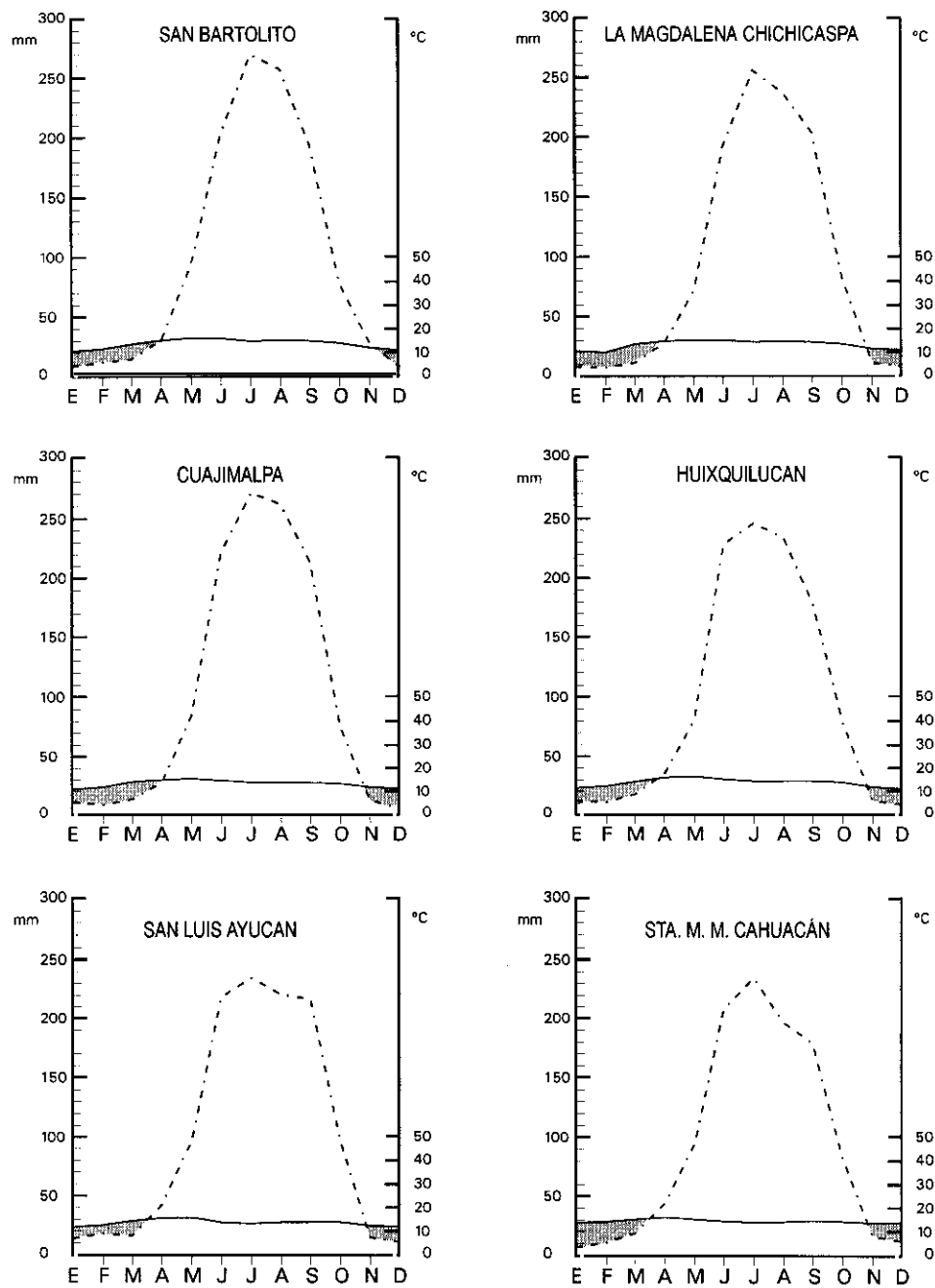


Figura 3.8b. Diagramas ombrotérmicos de Gauss, correspondientes a la franja de clima semifrío y húmedo del sector alto de la rampa de enlace.

húmedos, lo que favorece el encajonamiento del viento en ellos y consecuentemente el desarrollo de fenómenos particularmente intensos de condensación y precipitación. Desafortunadamente, la información proporcionada por la red de observación actual no permite caracterizar estos ámbitos climáticos con mayor detalle ni establecer de forma precisa su extensión.

3.5.2.2. El clima fresco y semihúmedo del sector medio de la rampa de enlace.

Domina este tipo de clima en la franja central de la rampa de enlace, entre las cotas de 2500-2700 msnm y 2400 msnm, así como en las elevaciones menores que de forma dispersa accidentan el pie de la sierra. A diferencia de los tipos climáticos anteriores, para su caracterización y análisis se dispone de una mejor cobertura en estaciones de observación meteorológica (compuesta por cinco distribuidas de norte a sur, que son Col. V. Guerrero, Presa Las Ruinas, El Salitre, Presa Totolica y Presa Mixcoac).

En los climodiagramas realizados con los datos proporcionados por dichas estaciones (fig. 3.8c) se observa cómo las temperaturas medias anuales se elevan uno o dos grados sobre las registradas en el sector alto de la rampa, situándose entre los 14° y los 16°, y el carácter isotérmico se hace algo menos definido que en los sectores más altos de la sierra, ya que las medias de los meses centrales del verano se acercan ya a los 18° mientras que las de los meses más fríos del invierno siguen sin sobrepasar apreciablemente los 10° u 11°. Las lluvias, por su parte, muestran un descenso tanto en su volumen anual -para situarse entre 800 y 1200 mm por término medio al año- como en su máximo de verano -puesto que en julio difícilmente alcanzan los 200 mm-. Esta disminución de los valores pluviométricos causa la pérdida del equilibrio entre el número de meses secos y húmedos (según la clasificación utilizada), que es típico de las zonas climáticas anteriores, y hace que las lluvias del invierno descendan a menos de la mitad de las que caen en la montaña.

De acuerdo con el sistema de Thornthwaite este tipo de clima está en la transición de "moderado a ligeramente húmedo" y se encuentra afectado por una

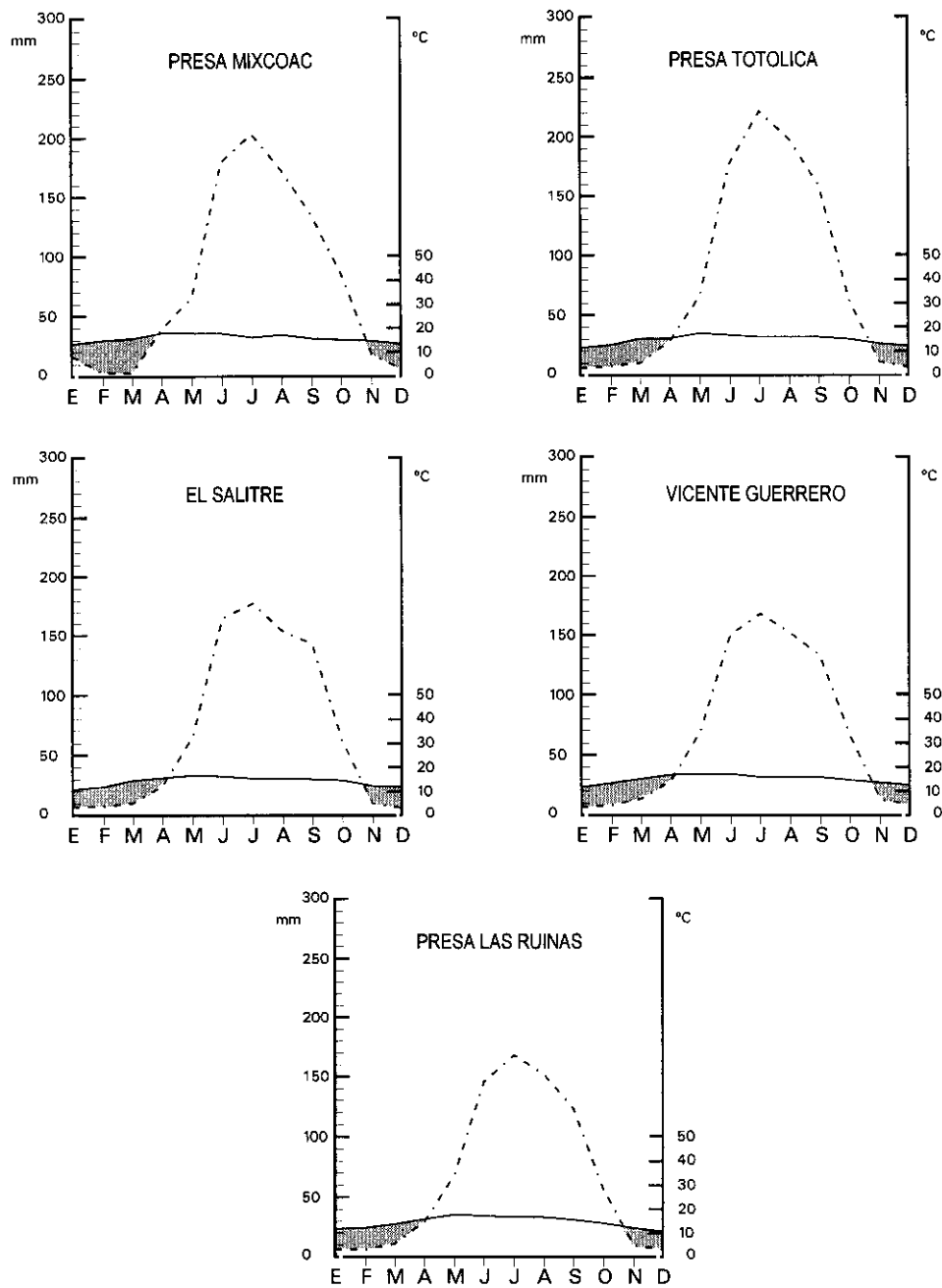


Figura 3.8c. Diagramas ombrotérmicos de Gaussen, correspondientes a la franja de clima semifrío y semihúmedo del sector medio de la rampa de enlace.

escasez media de humedad en los meses del invierno. Los valores de la eficacia térmica llevan a calificarlo de "mesotérmico", excepto en el tercio sur de la rampa, donde tiende a "microtérmico" (estación Presa Mixcoac). Por lo que se refiere a la evapotranspiración potencial (ETP), muestra unos valores similares a los del tipo climático anterior, registrando en todo caso un aumento apenas significativo por el que se sitúa en torno a 700 mm de media anual; esta similitud no se mantiene, en cambio, en los Índices de Humedad (Ih), que manifiestan importantes decrementos, por lo que en todos los casos se sitúan muy por debajo de 100.

El análisis comparativo de las estaciones de observación situadas en esta franja intermedia de la rampa revela la existencia de diferencias apreciables en el volumen de las precipitaciones de verano, apreciándose -de nuevo- un comportamiento relativamente distinto entre el sector septentrional y el meridional de la misma: mientras que en éste último (estaciones de Presa Totolica y Presa Mixcoac) se superan los 200 mm de media en julio, en aquél (Col. V. Guerrero, Presa Las Ruinas y El Salitre) esta media se mantiene en torno a 175 mm. Y es de destacar que esta diferencia en la abundancia de las lluvias estivales, pese a su reducida importancia cuantitativa, se traduce en cambios sensibles en la cubierta vegetal, por lo cual parece oportuno considerar la presencia de dos variantes dentro de esta área climática (fig. 3.9).

Una primera variante comprende la mitad meridional de la rampa, donde la más acusada pendiente del plano topográfico de enlace de la sierra con la cuenca otorga una mayor entidad a las precipitaciones de tipo orográfico en el verano, posibilitando que éstas superen el umbral de los 200 mm en el mes de julio. El exceso de humedad generado gracias a ello (mayor de 400 mm) permite tener un Índice Hídrico Anual (Ih) superior a 60.

La segunda variante se da en la mitad norte de esta franja media del piedemonte, donde la pendiente es más suave y la influencia de los vientos del noreste está menos definida. Por ello las precipitaciones del verano son menores y en julio no superan el citado umbral de los 200 mm; debido a ello el Índice Hídrico Anual se sitúa entre 50 y 60, lo que representa un descenso de más de la mitad del valor registrado en el piedemonte superior.

3.5.2.3. El clima templado y subhúmedo del sector inferior de la rampa de enlace.

Este tipo de clima domina en los tramos inferiores de la rampa de enlace -por debajo de la cota de 2400 msnm- y sus caracteres se han definido a partir de los datos de tres de las estaciones de la red de observación meteorológica (Las Arboledas, Presa Guadalupe y Molino Blanco). Pese a su reducido número, se las puede considerar suficientes para cubrir el área, dada la topografía casi llana de dichos tramos.

Como se observa en los climodiagramas de la figura 3.8d, los valores de la temperatura media anual se elevan alrededor de dos grados centígrados respecto a los del tipo climático anterior -para situarse entre 15° y 17°- y las temperaturas medias mensuales de mayo y junio llegan a superar el nivel de los 18°; todo ello, junto con unos 12° de media en los meses más fríos del invierno, define ya un ambiente climático bastante templado y con escaso contraste térmico estacional. Las precipitaciones, en cambio, descienden de modo apreciable hasta situarse en los valores más bajos de toda la vertiente, con totales medios anuales entre 600 y 800 mm y medias en los meses más lluviosos del verano inferiores a 150 mm. Debido a ello el exceso de agua acumulado durante la temporada de lluvias no supera los 300 mm por término medio, lo cual, sumado a la escasez de las lluvias en el invierno, da lugar a una prolongación y un reforzamiento de la temporada seca.

Así, según el sistema de clasificación de climas de Thornthwaite, las tres estaciones del piedemonte inferior presentan ya un régimen hídrico de tipo "subhúmedo", con altos déficits de humedad durante el invierno. La eficacia térmica se mantiene aún dentro del tipo "mesotérmico", aunque la gran proximidad al límite superior de éste justifica definirlo como "templado", según se ha indicado en el párrafo anterior. Por su parte, el Índice Hídrico Anual (Ih) desciende a valores inferiores de 20 en todo el sector, en tanto se observa un nuevo salto de los valores de la evapotranspiración potencial (ETP) respecto de los que dominan en los sectores superior y medio de la rampa, alcanzando valores anuales superiores a 700 mm.

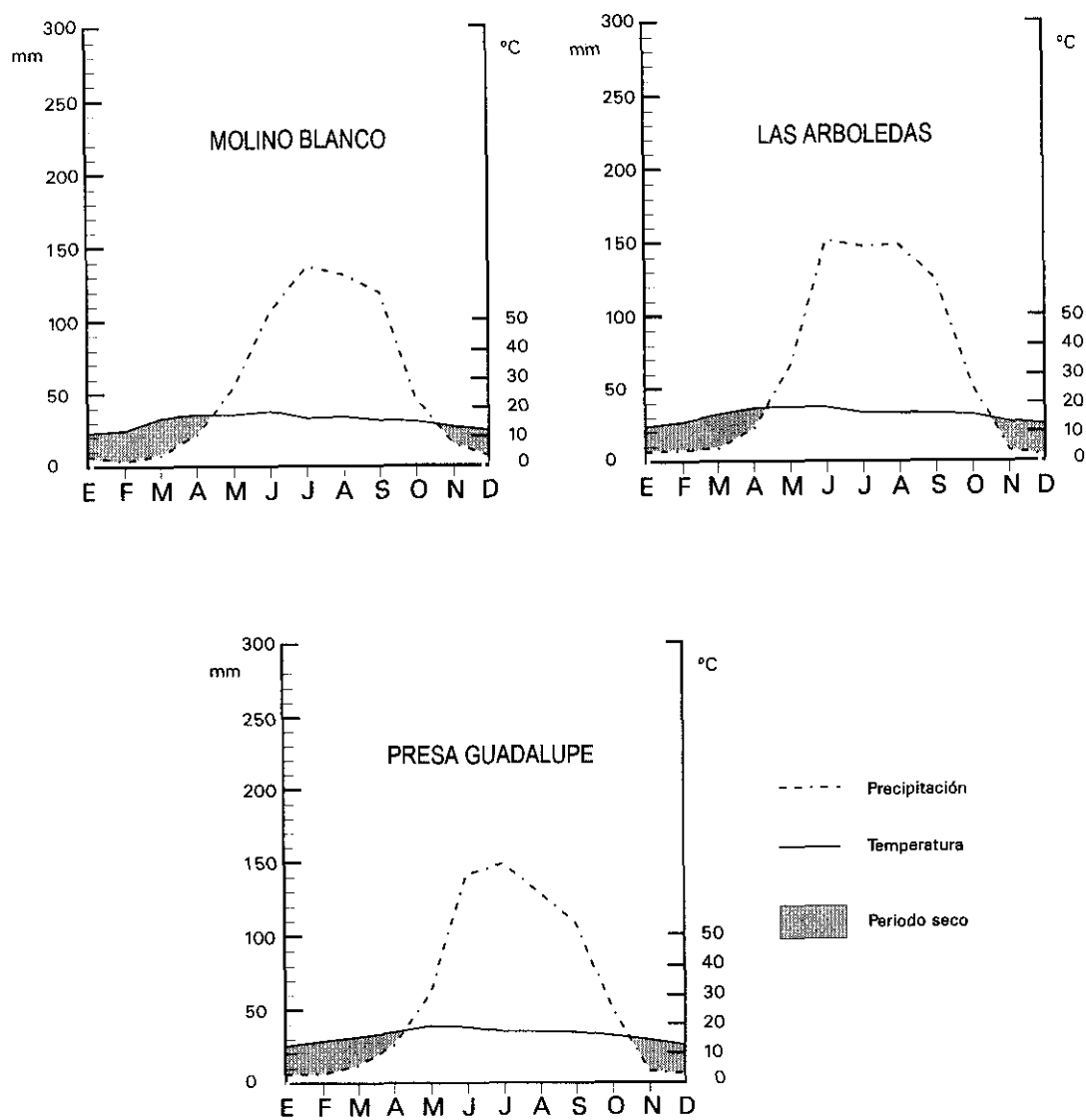


Figura 3.8d. Diagramas ombrotérmicos de Gaussen, correspondientes a la franja de clima templado y subhúmedo del sector inferior de la rampa de enlace.

La menor humedad (o la mayor sequedad) y la escasez de lluvias en el verano que caracterizan este tipo de clima se relacionan con la topografía abierta y plana y la falta de relieves prominentes próximos, así como con la ubicación fuera del radio de mayor influencia de los vientos del noreste de estas áreas basales, que, por otra parte, durante el invierno quedan a cubierto de la entrada de masas del oeste.

3.6. Conclusiones.

La localización geográfica de la sierra y en particular de su vertiente oriental, así como el dispositivo morfoestructural que deriva de su orografía son los factores fundamentales del comportamiento climático. Sin duda, su altura, orientación y forma desempeñan un papel importante en la determinación y distribución de las variantes climáticas que afectan al territorio estudiado, toda vez que se dispone como una elevada barrera cóncava de frente a los vientos predominantes que, dada la latitud en que se ubica, entran por el este y el noreste.

Estos flujos correspondientes a la circulación general de la atmósfera -y las masas de aire que en relación con ellos se desplazan- se imponen a la circulación local de vientos convectivos y brisas, por lo que sus caracteres y su comportamiento al acceder a la sierra representan el factor fundamental del estado de la atmósfera baja. Estas masas, ya de por sí húmedas, bajo la influencia del efecto de barrera orográfica de la vertiente se ven forzadas a ascender, como consecuencia de lo cual se refrescan, adquiriendo nubosidad y liberando precipitaciones en una cuantía que tiende a incrementarse conforme a la altitud.

Debido a la posición latitudinal del área y al desigual reparto a lo largo del año de las situaciones atmosféricas propicias a las lluvias, el clima tiene como rasgo básico y general la existencia de dos estaciones claramente marcadas y de duración más o menos equivalente. En una, que se extiende de mayo a octubre, domina el tiempo húmedo y relativamente cálido, resultante de la combinación de una insolación más intensa y una elevada frecuencia de flujos de aire húmedo y fresco asociados preferentemente a la circulación general (vientos del noreste), y en menor medida a la regional (circulación ciclónica) y a la local (circulación

convectiva y brisas de valle). En la otra estación que abarca de noviembre a abril, el ambiente climático es, por el contrario, seco y fresco o frío como consecuencia de unos valores de insolación más bajos combinados con el predominio de los flujos de aire preferentemente seco y frío asociados a la circulación general (vientos del oeste) y local (brisas de montaña); en esta temporada las lluvias son escasas y se asocian con la entrada esporádica de los "Nortes".

La aplicación del sistema de clasificación climática de Thornthwaite a los datos recogidos en una red de observación meteorológica, que puede considerarse suficiente pero que dista de tener una densidad y una estructura óptima, permite reconocer en la vertiente oriental de la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo cinco tipos climáticos básicos, cuyas áreas se distribuyen en forma de franjas paralelas y perpendiculares a la dirección de la pendiente general, reafirmando la decisiva importancia de los condicionantes morfoestructurales en la determinación del clima dentro del área de estudio. Algunos de ellos presentan variantes relacionadas con la altura y con la posición más o menos septentrional o meridional dentro de la montaña o de la rampa -susceptibles de tener trascendencia biogeográfica o paisajística-. Por otro lado, son numerosos los criterios, también relacionados con la cubierta vegetal y el paisaje, que llevan a pensar en la existencia de un sexto tipo climático en los sectores culminantes más elevados, no detectado plenamente por la red de observación existente.

Exceptuando este clima de las grandes cumbres, al que habría que calificar de muy frío y medianamente húmedo y el cual quedaría limitado a la escasa superficie de los macizos situada por encima de los 3400-3500 msnm, en el resto del área de montaña los efectos orográficos hacen que el clima sea frío y muy húmedo. Por debajo de sus laderas, el ambiente atmosférico pasa a ser semifrío y húmedo -en el sector superior de la rampa de piedemonte- y fresco y semihúmedo -en la franja central de la misma y en las elevaciones dispersas que la accidentan-. En esta franja, donde la disminución de las precipitaciones comienza a romper el equilibrio en los meses húmedos y los secos (a favor de estos últimos), se distinguen dos subsectores diferenciados por el volumen de las precipitaciones estivales: mientras en la mitad meridional las pluviosidades medias mensuales de verano superan el umbral de los 200 mm, en la mitad

septentrional no alcanzan este valor, lo cual tiene una notable influencia en el comportamiento fitoecológico de la vegetación natural. Finalmente, en el sector inferior de la rampa, que enlaza sin solución de continuidad con el fondo de la Cuenca de México, se aprecian unas condiciones climáticas marcadas por una mayor limitación de las disponibilidades hídricas. Su altura, su topografía y su posición respecto de los vientos dominantes dan lugar a un clima más templado y menos húmedo, que se refleja en la aparición de especies vegetales propias de ambientes xéricos.

Esta organización climática evidentemente condicionada por el dispositivo morfoestructural de la sierra trascienden en el paisaje, no sólo influyendo en la distribución de los táxones y de las comunidades vegetales -como se ha señalado en diversos casos-, sino también determinando la naturaleza y la actividad de los procesos de meteorización y de modelado externo y además controlando los caudales y el régimen de la red de cursos de agua (dotados, como consecuencia del gran desnivel de la vertiente, de una gran capacidad de incisión). Como se verá, la distribución de los climas hace que en los relieves más prominentes de los macizos volcánicos actúen con cierta eficacia procesos ligados a la congelación y el deshielo del agua; igualmente favorece, debido a la alta pluviosidad y a la fuerte concentración de ésta en los meses de verano que caracterizan a la montaña y a los sectores altos de la rampa, unas elevadas tasas de esorrentía capaces de mantener una activa arroyada y una importante erosión fluvial.

4. LA HIDROLOGÍA.

En la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo la hidrología es, sin duda, el componente del paisaje con manifestación a escala media que muestra una dependencia más clara y directa de los componentes macroestructurales, es decir, de la organización morfoestructural y -sobre todo- del clima. Por ello el estudio de las aguas y de su régimen se ha planteado, en principio, como una continuación del análisis climático, realizándose con base en los resultados de éste, una evaluación lo más precisa posible de las potencialidades hídricas de la vertiente y una apreciación de la distribución temporo-espacial de las mismas mediante la aplicación del sistema de Thornthwaite para el cálculo del balance hídrico.

Posteriormente se abordó el análisis de la escorrentía real, superficial y subterránea, teniendo en cuenta la litología aflorante, la disposición estructural y el tectonismo en las diversas unidades morfoestructurales que constituyen el territorio. Así mismo, se reconoció el papel prioritario y decisivo que los cursos de agua alimentados por ella han tenido y tienen en el modelado del área. Por último, el caudal, el régimen y el comportamiento de los excedentes de agua en las cuencas hidrográficas que se reparten el territorio se analizan en la medida en que lo permiten los registros de las estaciones de aforo de los principales ríos.

4.1. El balance hídrico y la distribución de la escorrentía.

Para realizar este balance hidrológico básico y con el objeto de enlazar con el análisis climático precedente se dio continuación al método propuesto para tal efecto por Thornthwaite, utilizando las mismas estaciones de observación y los mismos datos termométricos y pluviométricos que en el capítulo anterior (por lo cual las deficiencias en cuanto a nivel de cobertura de la red y calidad de las series que se citan en él han de tenerse en cuenta igualmente en este caso). Los únicos valores nuevos que se han introducido son los referentes a la capacidad de almacenamiento de humedad ("reserva útil" del suelo) atribuibles a los sectores del área representados por cada una de las estaciones.

Tomando en consideración que las formaciones piroclásticas y los suelos desarrollados sobre ellas tienen una capacidad de retención de agua particularmente alta, se han utilizado valores de "reserva útil" superiores en 50 mm al valor que les corresponde en las tablas elaboradas por Thorntwaite según las características texturales (la validez de lo cual parece confirmarse por los resultados de los aforos y por los análisis realizados en otras áreas montañosas volcánicas). Del mismo modo, este valor se disminuyó en 50 mm en los sectores más elevados de los macizos montañosos, representados por la estación Cuarto Dínamo, teniendo en cuenta el menor desarrollo de sus formaciones edáficas, los efectos desecantes del viento y la presencia de horizontes subsuperficiales congelados (cuadro 4.1).

De los cálculos así realizados se deduce que el volumen potencial de los excedentes de agua en la vertiente estudiada depende ante todo de la cuantía y del régimen de las precipitaciones en los sectores de montaña y rampa de piedemonte que la constituyen, de ahí que su organización hidrológica básica sea un reflejo de su estructura pluviométrica y presente, como ella, una clara influencia orográfica, pudiendo decirse que los cambios altitudinales derivados del dispositivo morfoestructural conllevan cambios climáticos y éstos dan lugar a cambios hídricos. De acuerdo con ello la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo se caracteriza en líneas generales por un incremento progresivo de las potencialidades hídricas desde las partes bajas -más secas y cálidas- hacia las partes altas -más lluviosas y frescas-.

Pese a que las diferencias son poco notorias al observar el comportamiento espacio-temporal de algunos parámetros -como la evapotranspiración real (ETR), que se mantiene en torno a 600 mm de media anual en toda la vertiente-, la escorrentía manifiesta diferencias apreciables, reflejando de forma muy clara la influencia orográfica. Con base en los totales medios anuales de ésta se pudo reconocer la existencia de cinco franjas altitudinales denominadas de baja, media-baja, media-alta, alta y muy alta escorrentía teórica (fig.4.1).

4.1.1. La franja de escorrentía teórica baja.

La porción baja de la rampa de enlace (por debajo de los 2300 a 2400 msnm) y la sierra del Tigre son las áreas hídricamente más desfavorecidas de la vertiente.

a	b	c	d	e	f
Molino Blanco	profunda	franco arenoso fino	150	-	150
Las Arboledas	''	franco limoso	250	-	250
Presa Guadalupe	''	''	250	-	250
Presa Las Ruinas	''	''	250	-	250
V. Guerrero	moderada	franco arenoso fino	150	+50	200
Presa Totolica	''	''	150	+50	200
El Salitre	''	''	150	+50	200
Presa Mixcoac	''	''	150	+50	200
San Bartolito	''	''	150	+50	200
L. M. Chichicaspa	''	''	150	+50	200
Cuajimalpa	''	franco arenoso fino	150	+50	200
S.M.M. Cahuacán	''	franco limoso	200	-	200
Huixquilucan	''	''	200	-	200
Santiago Tlazala	''	franco arcilloso	200	-	200
La Venta	''	''	200	+50	250
D. de los Leones	bosque	arcilloso	350	-	350
San Luis Ayucan	''	''	350	-	350
La Marquesa	''	''	350	-	350
Cuarto Dínamo	''	franco arcilloso	400	-50	350

a. Estación meteorológica.

b. Características de profundidad de las raíces de los cultivos o bien, bosques.

c. Textura del suelo.

d. Retención de humedad del suelo en mm, según los criterios de Thornthwaite.

e. Reajuste aplicado a los suelos desarrollados sobre piroclastos o bien, en la estación Cuarto Dínamo por condiciones climáticas desfavorables a la absorción por el suelo.

f. Retención de humedad aplicada en el cálculo del Balance Hídrico.

Cuadro 4.1. Capacidades de almacenamiento de agua provisionales según el tipo de cultivo y de suelo.

Se distinguen por una escorrentía media anual inferior a 200 mm (tal como se registra en las estaciones de Molino Blanco, Las Arboledas, Presa Guadalupe, Presa Las Ruinas y Vicente Guerrero). En ellas, las condiciones térmicas templadas -con temperaturas medias anuales por encima de 18°C- se combinan con un régimen pluviométrico subhúmedo en transición a la subaridez y con una capacidad de almacenamiento de agua en el suelo de media a alta (200-250 mm, salvo en Molino Blanco con 150 mm) debido al alto contenido en arcilla y a la apreciable profundidad de los vertisoles desarrollados sobre el piedemonte detrítico. De todo ello se derivan altos valores en la ETP y la ETR, situándose esta última en torno a 600 mm, es decir casi 100 mm por debajo de la evapotranspiración potencial.

En algunas estaciones de observación (Presa Guadalupe, Molino Blanco y Las Arboledas) se registran hasta ocho meses con déficit de humedad en el suelo (de octubre a mayo), acumulando unos déficits anuales de más de 100 mm. En tanto que la reserva útil del suelo se alcanza sólo en dos meses (agosto y septiembre), lo que indica que las condiciones hídricas solamente son favorables a la escorrentía bien entrada la temporada estival de lluvias.

4.1.2. La franja de escorrentía teórica media-baja.

En el sector medio de la rampa de enlace -que se asienta altitudinalmente por encima de la anterior -hasta una altitud de 2700 msnm- incluyendo las pequeñas elevaciones de los cerros Totoltepec y El Judío, la ya apreciable frescura del clima y pluviosidad algo más abundante se traducen en mejores condiciones hídricas, además de que los suelos son más gruesos y menos arcillosos que los de la franja anterior, por lo que tienen una capacidad inferior para retener agua (reserva útil de 200 mm), permitiendo totales medios de escorrentía anual de entre los 200 y 400 mm (como se aprecia en las estaciones de Presa Mixcoac, Presa Totolica y El Salitre). Y es a los 2500 msnm en la mitad sur del área y a los 2700 msnm en la mitad norte, algo menos favorecida por las lluvias sobre todo en el verano (fig. 4.1).

Se aprecia así como la nubosidad y los abundantes aportes pluviométricos amortiguan en esta franja del piedemonte la eficacia de las temperaturas,

haciendo que disminuya la evapotranspiración real (ETR) y por ende se reduzcan los déficits de humedad, que se mantienen durante siete meses alcanzando un valor acumulado en torno a 100 mm anuales. En contraste, el suelo se halla a su máxima capacidad de almacenamiento durante un periodo de cuatro meses (de julio a octubre).

4.1.3. La franja de escorrentía teórica media-alta.

Ocupa la parte más alta de la rampa de enlace (hasta 2800 msnm) e incluye también el cordal montañoso formado por los cerros Ñangó, Gachupín y Texcané, que la interrumpe, junto con algunos cerros menores (como el de Las Víboras). El mayor declive topográfico que caracteriza esta porción alta de la rampa hace que reinen ambientes climáticos frescos y muy húmedos (se alcanzan aquí los máximos de precipitación de toda la rampa, en torno a 1300 mm anuales), de lo cual -aún aplicando una capacidad de retención del suelo de 250 mm- se deriva un incremento en las potencialidades hídricas, que eleva la escorrentía teórica a valores en torno a los 600 mm anuales.

El límite superior de esta franja se adapta claramente a la morfología irregular del enlace de la rampa con las laderas montañosas, mostrando una prolongación que da cabida dentro de ella a los amplios valles tectónicos en el área de Huixquilucan. En todo su ámbito, bien cubierto por las estaciones de observación de San Bartolito, Huixquilucan, La Magdalena Chichicapa, San Luis Ayucan y Santa María Magdalena Cahuacán (fig. 4.1), la ETR (que se mantiene en torno a 600 mm) se acerca cada vez más a la potencial y además se alcanza un equilibrio en el número de meses con y sin déficits de agua, permitiendo que el suelo tenga completa su reserva de agua durante gran parte de la estación lluviosa (al menos, de junio a octubre).

4.1.4. La franja de escorrentía teórica alta.

Comprende el extenso sector montañoso de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, constituido por los macizos de Catedral, Las Cruces y San Miguel, desde el arranque inferior de sus laderas hasta una altitud máxima de

3400 msnm. Como se puso de manifiesto en el análisis climático, en este sector se dan los mayores aportes pluviométricos de toda el área estudiada, los cuales generalmente superan los 1300 mm anuales y se combinan con unos niveles térmicos ya francamente fríos. Bajo estas condiciones y aún contando con la alta capacidad de retención de los andosoles que se han desarrollado en estos ámbitos montanos -de 350 mm en la mayor parte de ellos (cuadro 4.1)- la escorrentía teórica se eleva de forma muy apreciable, llegando hasta los 800 mm anuales (estaciones Santiago Tlazala, Cuajimalpa, La Venta, Desierto de los Leones y La Marquesa).

La ETR, por su parte, continúa su tendencia decreciente y se coloca en torno a los 600 mm de media anual, y a unos 50 o 100 mm por debajo de la ETP, apreciándose un mayor parecido entre ambos parámetros conforme aumenta la altitud (cuadro 4.2). De este modo, el déficit de agua se mantiene -como en la franja anterior- equilibrado en seis meses, aunque el valor acumulado del mismo disminuye fuertemente y se coloca por debajo de 50 mm (a excepción de Cuajimalpa, con 83,85 mm, que se sitúa en el área de contacto entre ésta y la franja anterior). En cambio, el período en el que el suelo tiene satisfecha su reserva útil es prolongado y abarca en su práctica totalidad la estación de lluvias).

4.1.5. La franja de escorrentía teórica muy alta.

Esta última área definida por su capacidad de liberar excedentes hídricos se presenta, más que como una franja continua, como un conjunto de enclaves aislados situados por encima de la cota 3400 msnm, correspondiendo con las mayores prominencias de los macizos Catedral y San Miguel. En ellos, si bien las precipitaciones descienden ligeramente y el viento causa una acción reseca en las superficies, los bajos niveles térmicos de todos los meses del año permiten escasas pérdidas de agua por evaporación. Puede decirse así que en estos sectores culminantes (representados exclusivamente por la estación de Cuarto Dínamo, a 3470 msnm) la escorrentía supera los 800 mm anuales, aunque desafortunadamente no se cuenta con una red de observación suficiente para saber en qué medida.

Est. meteorológica	a	b	c	d
Escorrentía baja				
Presa Guadalupe	747,39	640,52	106,87	66,58
Molino Blanco	716,38	578,52	138,03	80,75
Las arboledas	727,83	624,36	91,47	125,64
Presa Las Ruinas	705,78	628,08	77,70	149,42
V. Guerrero	727,78	630,47	97,31	178,75
Escorrentía semibaja				
El salitre	697,81	605,96	91,85	226,04
Presa Mixcoac	627,56	565,53	62,03	309,77
Presa Totolica	709,90	610,75	99,15	342,19
Escorrentía semialta				
La M. Chichicapa	685,47	609,16	76,31	447,34
Sta. M. M. Cahuacán	699,47	611,40	88,07	490,60
Huixquilucan	689,19	609,12	78,07	534,58
San Luis Ayucan	700,44	650,20	50,24	536,10
San Bartolito	676,07	615,35	56,72	580,45
Escorrentía alta				
Cuajimalpa	664,08	580,23	83,85	626,27
La Marquesa	627,56	608,83	18,73	630,87
Santiago Tlazala	649,26	609,32	39,94	686,68
D. de los Leones	607,74	579,21	28,53	736,29
La Venta	622,05	576,03	56,02	769,97
Escorrentía muy alta				
Cuarto Dínamo	564,79	544,96	19,83	808,34

Cuadro 4.2. Balance hídrico medio anual. a) Evapotranspiración potencial, b) evapotranspiración real, c) déficits de agua y d) excesos de agua: escorrentía. Datos medios anuales en milímetros.

Debido a las bajas temperaturas la ETR se inhibe en estos enclaves de máxima altitud (menos de 600 mm en la estación Cuarto Dínamo) y sus valores son notablemente parecidos a los de la ETP. Debido a ello y a una capacidad de retención hídrica del suelo que se mantiene en torno a los 350 mm se producen muy pocas pérdidas de humedad, lo que se traduce en un déficit hídrico acumulado anual muy bajo, de unos 20 mm (unas cinco veces menor del que se tiene en base de la vertiente). La saturación del suelo es por ello muy duradera (de mayo a octubre), lo que aunado a la ya señalada capacidad de almacenamiento de agua de los andosoles permite paliar casi en absoluto las escasas deficiencias pluviales del invierno.

4.2. El ciclo anual del balance hídrico.

El ciclo hídrico anual refleja básicamente la combinación de los regímenes pluviométrico y termométrico de la vertiente, poniendo de relieve la existencia de dos estaciones hídricamente distintas. En una -de clima lluvioso y cálido-, pese a que la evapotranspiración es intensa, la mayor pluviosidad permite que se acumulen excedentes de agua capaces de restituir la carga de humedad en el suelo y de liberar caudales de escorrentía. En la otra estación -de clima muy poco lluvioso y frío-, aunque las bajas temperaturas y la escasez de los aportes de agua limitan el volumen real de la evapotranspiración, la falta de lluvias lleva a una gradual pérdida de las reservas hídricas del suelo y a una marcada disminución de la escorrentía. Dentro de este contexto general, la influencia de la orografía causa variaciones en la duración y la mayor o menor definición de estas estaciones (fig. 4.2 y cuadro 4.3).

4.2.1 La evapotranspiración real.

Es a partir de octubre cuando la reducción de la pluviosidad, que se viene dando desde agosto en toda la vertiente, hace que la ETR descienda por debajo de la ETP, con lo que se da inicio a la temporada del año más desfavorecida hídricamente. En la mayor parte de las estaciones de observación este descenso se consolida en noviembre y sólo en las situadas en las partes más altas hasta diciembre. Conforme avanza la temporada seca la distancia entre ambos

parámetros de la evapotranspiración se incrementa como reflejo de la reducción -cada vez más acusada- de los aportes pluviales, de tal modo que en los meses de enero o febrero la ETR alcanza los valores más bajos de todo el año que, como era de esperar, tienen sus valores mínimos en la base de la sierra, donde pueden bajar de 30 mm (22,9 mm en Molino Blanco) (fig. 4.2 y cuadro 4.3).

En febrero y marzo la ETR muestra ya una ligera recuperación, que sin embargo no evita que sigan aumentando las diferencias con respecto a los valores potenciales. Y, por fin, en mayo y junio las altas temperaturas y los abundantes aportes hídricos del centro de la estación lluviosa permiten rápidos incrementos de la ETR, que así alcanza a la potencial, registrándose en ellos los valores más altos del año: entre 60 y 70 mm de media mensual, y con una tendencia a ser mayores hacia las partes más templadas de la rampa inferior (algo más de 80 mm en junio en las estaciones de Molino Blanco, Presa Guadalupe y Vicente Guerrero) (fig. 4.2 y cuadro 4.3).

Durante el verano y la primera parte del otoño la ETR se mantiene con valores altos, aunque muestra una tendencia poco definida al descenso, debido quizá al efecto refrescante de las lluvias y al decremento de la insolación, pero entre octubre y noviembre el mayor descenso pluviométrico del año ocasiona una brusca caída de la ETR, que así se coloca nuevamente en el punto de partida antes señalado.

4.2.2. Los excedentes y déficits de agua reales.

De acuerdo con los cálculos efectuados, el período hídricamente más desfavorecido dura ocho meses (de octubre a mayo) en la base de la vertiente y se va recortando paulatinamente hasta ser de seis (de noviembre a abril) en las partes culminantes de ésta. Durante los primeros meses del mismo la falta de agua pluvial es paliada por las reservas del suelo en toda la vertiente, aunque éstas en las partes más bajas del área pueden acumular decrementos del orden de 30 mm mensuales. (cuadro 4.3).

A partir de enero o febrero y hasta abril las reservas del suelo se van haciendo cada vez menos importantes, lo que se traduce en un incremento significativo de

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	15,3	13,5	11,9	11,7	13,2	15,8	17,1	17,6	18,1	16,8	17,1	16,5	15,4
Precipitación	45,7	14,8	7,1	7,2	4,9	8,3	21,5	54,5	107,2	137,6	131,5	119,0	659,3
ETP	57,85	45,2	36,66	36,79	42,48	62,0	68,8	77,05	80,64	70,87	73,15	64,89	716,38
P-ETP	-12,1	-30,4	-29,56	-29,59	-37,58	-53,7	-47,3	-22,55	26,56	66,73	58,35	54,11	
Déficit acumulado	12,1	42,5	72,06	101,65	139,23	192,93	240,23	262,78	-	-	-	-	
Reserva útil	138	113	92	76	58	41	30	25	51,56	118,29	150	150	
Var. de la reserva	-12	-25	-21	-16	-18	-17	-11	-5	26,56	66,73	31,71	0	
ETR	57,7	39,8	28,1	23,2	22,9	25,3	32,5	59,5	80,64	70,87	73,15	64,89	538,52
Déficit de agua	0,15	5,4	8,56	13,59	19,58	36,7	36,5	17,55	0	0	0	0	138,03
Exceso de agua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,64	54,11	80,75
Escorrentía (mm)	16,85	8,42	4,21	2,1	1,05	0,52	0,26	0,13	0,06	0,03	13,32	33,71	80,66
Retención del suelo aplicada: 150 mm				Escorrentía anual: 2,5 l/s/km ²				Tipo climático: C ₂ B' w ₂ a'					

Cuadro 4.3a. Ficha hídrica de Molino Blanco.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	15,5	13,7	12,6	12,3	13,2	15,9	17,7	18,0	17,6	16,5	16,6	16,4	15,5
Precipitación	52,1	7,3	4,1	6,9	7,7	8,4	23,6	66,4	151,7	147,3	149,7	124,8	750,0
ETP	57,85	48,02	39,48	39,62	42,48	62,0	73,12	80,4	77,28	70,87	69,82	64,89	727,83
P-ETP	-5,75	-40,72	-35,38	-32,72	-34,78	-53,6	-51,52	-14,0	74,42	76,43	79,88	59,91	
Déficit acumulado	5,75	46,47	81,85	114,57	149,35	202,95	254,47	268,47	-	-	-	-	
Reserva útil	245	208	180	158	137	110	89	85	159,42	235,85	250	250	
Var. de la reserva	-5	-37	-28	-22	-21	-27	-21	-4	74,42	76,43	14,15	0	
ETR	57,1	44,3	32,1	28,9	28,7	35,4	44,6	70,4	77,28	70,87	69,82	64,89	624,36
Déficit de agua	0,75	3,72	7,38	10,72	13,78	26,6	28,52	10,0	0	0	0	0	91,47
Exceso de agua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65,73	59,91	125,64
Escorrentía (mm)	23,19	11,59	5,79	2,89	1,44	0,72	0,36	0,18	0,09	0,04	32,86	46,38	125,53
Retención del suelo aplicada: 250 mm				Escorrentía anual: 3,9 l/s/km ²				Tipo climático: C ₂ B' w ₂ a'					

Cuadro 4.3b. Ficha hídrica de Las Arboledas.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	15,8	14,1	13,1	12,5	13,7	16,1	17,7	18,3	17,9	17,2	17,3	17,0	15,8
Precipitación	50,3	7,4	6,3	6,2	6,5	11,8	25,3	62,7	141,4	149,3	129,4	110,5	707,1
ETP	60,9	45,2	42,3	39,62	42,48	62,0	75,12	83,75	80,64	74,25	73,15	67,98	747,39
P-ETP	-10,60	-37,8	-36,0	-33,42	-35,98	-50,2	-49,82	-21,05	60,76	75,05	56,25	42,52	
Déficit acumulado	10,6	48,4	84,4	117,82	153,8	204,0	253,82	274,87	-	-	-	-	
Reserva útil	240	206	177	156	135	109	90	82	142,76	217,81	250	250	
Var. de la reserva	-10	-34	-29	-21	-21	-26	-19	-8	60,76	75,05	32,19	0	
ETR	60,3	41,4	35,3	27,2	27,5	37,8	44,3	70,7	80,64	74,25	73,15	67,98	640,52
Déficit de agua	0,6	3,8	7,0	12,42	14,98	24,2	30,82	13,05	0	0	0	0	106,87
Exceso de agua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24,06	42,52	66,58
Escorrentía (mm)	13,63	6,81	3,40	1,7	0,85	0,42	0,21	0,10	0,05	0,02	12,03	27,27	66,49
Retención del suelo aplicada: 250 mm				Escorrentía anual: 2,1 l/s/km ²				Tipo climático: C ₂ B', w ₂ a'					

Cuadro 4.3c. Ficha hídrica de Presa Guadalupe.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	14,0	12,0	10,8	10,7	11,4	13,6	15,8	17,2	16,8	16,2	16,1	15,5	14,1
Precipitación	56,8	9,4	5,4	6,7	6,7	9,4	28,3	68,8	145,2	168,9	151,6	120,3	777,5
ETP	54,81	42,37	36,66	36,79	37,17	55,8	68,86	83,75	77,28	74,25	73,15	64,89	705,78
P-ETP	1,99	-32,97	-31,26	-30,09	-30,47	-46,4	-40,56	-14,95	67,92	94,65	78,45	55,41	
Déficit acumulado	-	32,97	64,23	94,32	124,79	171,19	211,75	226,7	-	-	-	-	
Reserva útil	250	220	192	171	152	125	107	101	168,92	250	250	250	
Var. de la reserva	0	-30	-28	-21	-19	-27	-18	-6	67,92	81,08	0	0	
ETR	54,81	39,4	33,4	27,7	25,7	36,4	46,3	74,8	77,28	74,25	73,15	64,89	628,08
Déficit de agua	0	2,97	3,26	9,09	11,47	19,4	22,56	8,95	0	0	0	0	77,7
Exceso de agua	1,99	0	0	0	0	0	0	0	0	13,57	78,45	55,41	149,42
Escorrentía (mm)	25,5	12,75	6,37	3,18	1,59	0,79	0,39	0,19	0,09	6,78	42,61	49,01	149,25
Retención del suelo aplicada: 250 mm				Escorrentía anual: 4,7 l/s/km ²				Tipo climático: B ₁ B', w ₂ a'					

Cuadro 4.3d. Ficha hídrica de Presa las Ruinas.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	14,9	13,5	12,4	11,7	13,0	15,0	17,0	17,2	17,2	16,0	16,1	16,0	15,0
Precipitación	60,5	12,0	8,2	7,0	8,7	12,8	27,9	69,8	150,0	167,9	151,6	132,8	809,2
ETP	57,85	48,02	42,3	39,62	42,48	58,9	71,99	80,4	80,64	70,87	69,82	64,89	727,78
P-ETP	2,67	-36,02	-34,10	-32,62	-33,78	-46,10	-44,09	-10,60	69,36	97,03	81,78	67,91	
Déficit acumulado	-	36,02	70,12	102,74	136,52	182,62	226,71	237,31	-	-	-	-	
Reserva útil	200	167	140	119	100	80	64	60	129,36	200	200	200	
Var. de la reserva	0	-33	-27	-21	-19	-20	-16	-4	69,36	70,74	0	0	
ETR	57,85	45,0	35,2	28,0	27,7	32,8	43,9	73,8	80,64	70,87	69,82	64,89	630,47
Déficit de agua	0	3,02	7,1	11,62	14,78	26,1	28,09	6,6	0	0	0	0	97,31
Exceso de agua	2,67	0	0	0	0	0	0	0	0	26,39	81,78	67,91	178,75
Escorrentía (mm)	30,18	15,09	7,54	3,77	1,88	0,94	0,47	0,23	0,11	13,19	47,48	57,59	178,57
Retención del suelo aplicada: 200 mm				Escorrentía anual: 5,6 l/s/km ²				Tipo climático: B ₁ B' wa'					

Cuadro 4.3e. Ficha hídrica de Vicente Guerrero.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	15,8	14,8	12,9	12,9	14,4	16,9	17,7	17,8	17,8	16,5	17,0	16,4	15,9
Precipitación	83,3	19,7	6,4	16,3	3,1	3,2	29,8	65,4	130,6	204,2	173,9	139,4	870,3
ETP	51,76	39,55	39,48	36,79	37,17	49,6	56,34	67,0	70,56	60,75	59,85	58,71	627,56
P-ETP	31,54	-10,85	-33,08	-20,49	-34,07	-46,4	-26,54	-1,6	60,04	143,45	114,05	80,69	
Déficit acumulado	-	19,85	52,93	73,42	107,49	153,89	180,43	182,03	-	-	-	-	
Reserva útil	200	182	153	138	116	92	80	80	140,04	200	200	200	
Var. de la reserva	0	-18	-29	-15	-22	-24	-12	0	60,04	59,96	0	0	
ETR	51,76	37,7	35,4	31,3	25,1	27,2	41,8	65,4	70,56	60,75	59,85	58,71	565,53
Déficit de agua	0	1,85	4,08	5,49	12,07	22,4	14,54	1,6	0	0	0	0	62,03
Exceso de agua	31,54	0	0	0	0	0	0	0	0	83,49	114,05	80,69	309,77
Escorrentía (mm)	55,41	27,7	13,85	6,92	3,46	1,73	0,86	0,43	0,21	41,74	77,89	79,29	309,49
Retención del suelo aplicada: 200 mm				Escorrentía anual: 9,8 l/s/km ²				Tipo climático: B ₂ C ₆ wa'					

Cuadro 4.3f. Ficha hídrica de Presa Mixcoac.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	14,8	13,0	12,0	11,5	12,6	15,3	16,6	17,2	16,8	16,0	16,0	15,9	14,8
Precipitación	63,4	10,2	6,3	6,1	7,0	9,9	27,1	65,8	177,1	221,5	198,0	160,5	952,9
ETP	57,85	45,2	39,48	36,79	39,82	62,0	68,86	80,4	73,92	70,87	69,82	64,89	709,9
P-ETP	5,59	-35,0	-33,18	-30,69	-32,82	-52,1	-41,76	-14,6	103,18	150,63	128,18	95,61	
Déficit acumulado	-	35,0	68,18	98,87	131,69	183,79	225,55	240,15	-	-	-	-	
Reserva útil	200	168	142	122	103	79	64	59	162,18	200	200	200	
Var. de la reserva	0	-32	-26	-20	-19	-14	-15	-5	103,18	37,82	0	0	
ETR	57,85	42,2	32,3	26,1	26,0	33,9	42,1	70,8	73,92	70,87	69,82	64,89	610,75
Déficit de agua	0	3	7,18	10,69	13,82	28,1	26,76	9,6	0	0	0	0	99,15
Exceso de agua	5,59	0	0	0	0	0	0	0	0	12,81	121,18	95,61	342,19
Escorrentía (mm)	49,77	24,88	12,44	6,22	3,11	1,55	0,77	0,38	0,19	56,4	92,29	93,95	341,95
Retención del suelo aplicada: 200 mm				Escorrentía anual: 10,8 l/s/km ²					Tipo climático: B ₂ B' ₁ w ₂ a'				

Cuadro 4.3g. Ficha hídrica de Presa Totolica.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	14,5	12,6	11,4	11,2	12,2	14,9	16,1	16,5	16,2	15,2	15,3	15,1	14,2
Precipitación	62,7	10,0	6,5	6,5	8,3	9,8	23,0	65,6	160,5	178,0	154,9	143,2	829,0
ETP	57,85	42,37	36,66	36,79	39,82	62,0	68,86	77,05	73,92	70,87	69,82	61,8	697,81
P-ETP	4,85	-32,37	-30,16	-30,29	-32,52	-52,2	-45,86	-11,45	86,58	107,13	85,08	81,4	
Déficit acumulado	-	32,37	62,53	92,82	124,34	176,54	222,4	233,85	-	-	-	-	
Reserva útil	200	170	146	125	107	82	65	61	147,58	200	200	200	
Var. de la reserva	0	-30	-24	-21	-18	-25	-20	-4	86,58	52,42	0	0	
ETR	57,85	40,0	30,5	27,5	26,3	34,8	43,0	69,6	73,92	70,87	69,82	61,8	605,96
Déficit de agua	0	2,37	6,16	9,29	13,52	27,2	25,86	7,45	0	0	0	0	91,85
Exceso de agua	4,85	0	0	0	0	0	0	0	0	54,71	85,08	81,4	226,04
Escorrentía (mm)	36,82	18,41	9,2	4,6	2,3	1,15	0,57	0,28	0,14	27,35	56,21	68,8	225,83
Retención del suelo aplicada: 200 mm				Escorrentía anual: 7,1 l/s/km ²					Tipo climático: B ₁ B' ₁ w ₂ a'				

Cuadro 4.3h. Ficha hídrica de El Salitre.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	13,8	12,1	11,3	10,7	11,8	13,6	15,3	16,0	15,9	15,1	15,2	15,0	13,8
Precipitación	78,2	26,6	8,8	9,8	11,9	13,5	31,2	94,6	202,0	270,7	257,9	194,6	1199,8
ETP	54,81	42,37	36,66	36,79	37,17	55,8	65,73	73,7	73,92	67,5	69,82	61,8	676,07
P-ETP	23,39	-15,77	-27,86	-26,99	-25,27	-42,3	-34,53	20,9	128,08	203,2	188,08	132,8	
Déficit acumulado	-	15,77	43,63	70,62	95,89	138,19	172,72	-	-	-	-	-	
Reserva útil	200	185	161	140	123	99	84	104	200	200	200	200	
Var. de la reserva	0	-15	-24	-21	-17	-24	-15	20,9	95,1	0	0	0	
ETR	54,81	41,6	32,8	30,8	28,9	37,5	46,2	73,7	73,92	67,5	69,82	61,8	615,35
Déficit de agua	0	0,77	3,86	5,99	8,27	18,3	19,53	0	0	0	0	0	56,72
Exceso de agua	23,39	0	0	0	0	0	0	0	32,98	203,2	188,08	132,8	580,45
Escorrentía (mm)	82,13	41,06	20,53	10,26	5,13	2,56	1,28	0,64	16,49	109,84	148,96	140,88	579,76
Retención del suelo aplicada: 200 mm				Escorrentía anual: 18,3 l/s/km ²				Tipo climático: B ₄ B' ₁ wa'					

Cuadro 4.3i. Ficha hídrica de San Bartolito.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	13,4	12,3	11,5	11,3	12,2	14,5	15,8	16,2	15,1	14,0	14,1	14,0	13,7
Precipitación	79,3	11,9	8,1	11,9	10,2	16,9	33,7	83,0	229,1	246,3	234,9	180,4	1145,7
ETP	54,81	45,2	39,48	39,62	42,48	62,0	71,99	77,05	70,56	62,12	63,17	58,71	689,19
P-ETP	24,49	-33,3	-31,38	-27,72	-32,28	-45,1	-38,29	5,95	158,54	182,18	171,73	121,69	
Déficit acumulado	-	33,3	65,1	92,82	125,1	170,2	208,49	-	-	-	-	-	
Reserva útil	200	169	144	125	106	85	70	75,95	200	200	200	200	
Var. de la reserva	0	-31	-25	-19	-19	-21	-15	5,95	124,05	0	0	0	
ETR	54,81	42,9	33,1	30,9	29,2	37,9	48,7	77,05	70,56	62,12	63,17	58,71	609,12
Déficit de agua	0	2,3	6,38	8,72	13,28	24,1	23,29	0	0	0	0	0	78,07
Exceso de agua	24,49	0	0	0	0	0	0	0	34,49	182,18	171,73	121,69	534,58
Escorrentía (mm)	76,59	38,29	19,14	9,57	4,78	2,39	1,19	0,59	17,24	99,71	135,72	128,7	534,62
Retención del suelo aplicada: 200 mm				Escorrentía anual: 16,9 l/s/km ²				Tipo climático: B ₃ B' ₁ wa'					

Cuadro 4.3j. Ficha hídrica de Huixquilucan

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	13,4	11,7	11,0	10,4	10,0	12,9	14,8	15,5	15,5	14,7	14,9	14,6	13,3
Precipitación	82,2	12,4	7,5	8,4	7,8	11,0	28,6	70,2	192,9	256,0	238,5	204,0	1119,5
ETP	57,85	42,37	39,48	39,62	34,51	55,8	65,73	73,7	73,92	70,87	69,82	61,8	685,47
P-ETP	24,35	-29,97	-31,98	-31,22	-26,71	-44,8	-37,13	-3,5	55,98	185,13	168,68	142,2	
Déficit acumulado	-	29,97	61,95	97,17	119,88	164,68	201,81	205,31	-	-	-	-	
Reserva útil	200	173	147	122	109	87	72	71	126,98	200	200	200	
Var. de la reserva	0	-27	-26	-25	-13	-22	-15	-1	55,98	73,02	0	0	
ETR	57,85	39,4	33,5	33,4	20,8	33,0	43,6	71,2	73,92	70,87	69,82	61,80	609,16
Déficit de agua	0	2,97	5,98	6,22	13,71	22,8	22,13	2,5	0	0	0	0	76,31
Exceso de agua	24,35	0	0	0	0	0	0	0	0	112,11	168,68	142,2	447,34
Escorrentía (mm)	75,81	37,9	18,95	9,47	4,73	2,36	1,18	0,59	0,29	56,05	112,36	127,28	447,0
Retención del suelo aplicada: 200 mm				Escorrentía anual: 14,1 l/s/km ²					Tipo climático: B ₃ B' ₁ wa'				

Cuadro 4.3k. Ficha hídrica de La Magdalena Chichicapa.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	13,9	12,6	12,2	11,8	12,5	14,8	15,7	15,8	14,6	13,8	14,0	13,9	13,8
Precipitación	96,8	14,8	10,6	12,4	17,8	15,2	42,3	90,7	218,3	234,6	221,9	214,9	1190,3
ETP	57,85	45,2	45,12	42,45	42,48	65,1	71,99	77,05	67,2	64,12	63,17	58,71	700,44
P-ETP	38,95	30,4	-34,52	-30,05	-24,68	-49,9	-29,69	13,65	151,1	170,48	158,73	153,19	
Déficit acumulado	-	30,4	64,92	94,97	119,65	169,55	199,24	-	-	-	-	-	
Reserva útil	350	321	291	266	248	215	197	210,65	350	350	350	350	
Var. de la reserva	0	-29	-26	-25	-18	-33	-18	13,65	139,35	0	0	0	
ETR	57,85	43,8	36,6	37,4	35,8	48,2	60,3	77,05	67,2	64,12	63,17	58,71	650,2
Déficit de agua	0	1,4	8,52	5,05	6,68	16,9	11,69	0	0	0	0	0	50,24
Exceso de agua	38,95	0	0	0	0	0	0	0	11,75	170,48	158,73	156,19	536,1
Escorrentía (mm)	89,38	44,69	22,34	11,17	5,58	2,79	1,39	0,69	5,87	88,17	123,45	139,82	535,34
Retención del suelo aplicada: 350 mm				Escorrentía anual: 16,9 l/s/km ²					Tipo climático: B ₄ B' ₁ wa'				

Cuadro 4.3l. Ficha Hídrica de San Luis Ayucan.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	14,2	13,8	13,8	13,2	13,7	15,3	15,9	15,1	14,6	13,8	14,0	14,0	14,3
Precipitación	81,2	14,9	12,3	6,6	11,9	17,8	43,9	94,8	209,2	233,9	196,4	179,1	1102,0
ETP	57,85	50,85	50,76	48,11	47,79	65,1	68,86	67,0	63,84	60,75	59,85	58,71	699,47
P-ETP	23,35	-35,95	-38,96	-41,51	-35,89	-47,3	-24,96	27,8	145,36	173,15	136,55	120,39	
Déficit acumulado	-	35,95	74,41	115,92	151,81	199,11	224,07	-	-	-	-	-	
Reserva útil	200	168	138	112	93	73	64	91,8	200	200	200	200	
Var. de la reserva	0	-32	-30	-26	-19	-20	-9	27,8	108,2	0	0	0	
ETR	57,85	46,9	42,3	32,6	30,9	37,8	52,9	67,0	63,84	60,75	59,85	58,71	611,4
Déficit de agua	0	3,95	8,46	15,51	16,89	27,3	15,96	0	0	0	0	0	88,07
Exceso de agua	23,35	0	0	0	0	0	0	0	37,16	173,15	136,55	120,39	490,6
Escorrentía (mm)	70,82	35,41	17,7	8,85	4,42	2,21	1,1	0,55	18,58	95,86	116,2	118,29	489,99
Retención del suelo aplicada: 200 mm				Escorrentía anual: 15,5 l/s/km ²				Tipo climático: B ₃ B',wa'					

Cuadro 4.3m. Ficha Hídrica de Santa María Magdalena Cahuacán.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	12,0	11,0	10,3	10,0	10,6	12,7	13,9	14,3	13,6	13,1	13,0	12,8	12,3
Precipitación	97,2	19,2	14,4	14,0	17,4	18,8	50,3	90,8	243,1	257,3	238,1	235,4	1296,0
ETP	51,76	42,37	39,48	39,62	37,17	55,8	62,6	70,35	67,2	64,12	63,17	55,62	649,26
P-ETP	45,44	-23,17	-25,08	-25,62	-19,77	-37,0	-12,3	20,45	175,9	193,18	174,93	179,78	
Déficit acumulado	-	23,17	48,25	73,87	93,64	130,64	142,94	-	-	-	-	-	
Reserva útil	200	178	157	138	125	104	97	117,45	200	200	200	200	
Var. de la reserva	0	-22	-21	-19	-13	-21	-7	20,45	82,55	0	0	0	
ETR	51,76	41,2	35,4	33,0	30,4	39,8	57,3	70,35	67,2	64,12	63,17	55,62	609,32
Déficit de agua	0	1,17	4,08	6,62	6,77	16,0	5,3	0	0	0	0	0	39,94
Exceso de agua	45,44	0	0	0	0	0	0	0	93,35	193,18	174,93	179,78	686,68
Escorrentía (mm)	104,52	52,26	26,13	13,06	6,53	3,26	1,63	0,81	46,67	119,92	147,42	163,60	685,81
Retención del suelo aplicada: 200 mm				Escorrentía anual: 21,7 l/s/km ²				Tipo climático: AB',wa'					

Cuadro 4.3n. Ficha hídrica de Santiago Tlazala.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	12,9	11,8	11,1	11,1	11,8	14,4	15,2	15,6	14,3	13,2	13,3	13,1	13,1
Precipitación	76,9	10,8	6,1	11,2	7,4	12,4	27,4	85,0	222,3	271,6	261,7	213,7	1206,5
ETP	54,81	42,37	39,48	39,62	39,82	62,0	68,86	73,7	67,2	60,75	59,85	55,62	664,08
P-ETP	22,09	-31,57	-33,38	-28,42	-32,42	-49,6	-41,46	11,3	155,1	210,85	201,85	158,08	
Déficit acumulado	-	31,57	64,95	93,37	125,79	175,39	216,85	-	-	-	-	-	
Reserva útil	200	171	145	125	106	82	67	78,3	200	200	200	200	
Var. de la reserva	0	-29	-26	-20	-19	-24	-15	11,3	121,7	0	0	0	
ETR	54,81	39,8	32,1	31,2	26,4	36,4	42,4	73,7	67,2	60,75	59,85	55,62	580,23
Déficit de agua	0	2,57	7,38	8,42	13,42	25,6	26,46	0	0	0	0	0	83,85
Exceso de agua	22,09	0	0	0	0	0	0	0	33,4	210,85	201,85	158,08	626,27
Escorrentía (mm)	90,01	45,0	22,5	11,25	5,62	2,81	1,4	0,7	16,7	113,77	157,81	157,94	625,51
Retención del suelo aplicada: 200 mm				Escorrentía anual: 19,8 l/s/km ²					Tipo climático: B ₄ B',wa'				

Cuadro 4.3o. Ficha Hídrica de Cuajimalpa.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	11,2	9,7	8,7	8,7	9,7	12,2	13,1	13,5	12,8	12,0	11,9	11,9	11,2
Precipitación	103,1	13,7	8,7	8,4	14,6	12,2	35,3	99,3	234,1	288,2	278,3	250,1	1346,0
ETP	48,72	39,55	33,84	33,96	37,17	55,8	62,6	70,35	63,84	60,75	59,85	55,62	622,05
P-ETP	54,38	-25,85	-25,14	-25,56	-22,57	-43,6	-27,3	28,95	170,26	227,45	2218,45	194,48	
Déficit acumulado	-	25,85	50,99	76,55	99,12	142,72	170,02	-	-	-	-	-	
Reserva útil	250	226	204	184	168	141	126	154,95	250	250	250	250	
Var. de la reserva	0	-24	-22	-20	-16	-27	-15	28,95	95,05	0	0	0	
ETR	48,72	37,7	30,7	28,4	30,6	39,2	50,3	70,35	63,84	60,75	59,85	55,62	576,03
Déficit de agua	0	1,85	13,14	5,56	6,57	16,6	12,3	0	0	0	0	0	56,02
Exceso de agua	54,38	0	0	0	0	0	0	0	75,21	227,45	218,45	194,48	769,97
Escorrentía (mm)	119,68	59,84	29,92	14,06	7,98	3,74	1,87	0,93	37,6	132,52	175,48	184,98	769,0
Retención del suelo aplicada: 250 mm				Escorrentía anual: 24,3 l/s/km ²					Tipo climático: AC',wa'				

Cuadro 4.3p. Ficha hídrica de La Venta.



	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	10,5	9,6	8,5	8,1	9,0	11,2	12,3	12,3	11,8	11,0	11,1	10,8	10,5
Precipitación	95,4	14,2	8,8	13,4	13,6	15,0	36,9	103,0	238,6	269,1	271,0	236,5	1315,5
ETP	51,76	42,37	36,66	33,96	37,17	55,8	59,47	63,65	60,48	57,37	56,52	52,53	607,74
P-ETP	43,64	-28,17	-27,86	-20,56	-23,57	-40,8	-28,57	39,35	178,12	211,73	214,48	183,97	
Déficit acumulado	-	28,17	56,03	76,59	100,16	140,96	169,53	-	-	-	-	-	
Reserva útil	350	322	298	281	262	234	215	254,35	350	350	350	350	
Var. de la reserva	0	-28	-24	-17	-19	-28	-19	39,35	95,65	0	0	0	
ETR	51,76	42,2	32,8	30,4	32,6	43,0	55,9	63,65	60,48	57,37	56,52	52,53	579,21
Déficit de agua	0	0,17	3,86	3,56	4,57	12,8	3,57	0	0	0	0	0	28,53
Exceso de agua	43,64	0	0	0	0	0	0	0	82,47	211,73	214,48	183,97	736,29
Escorrentía (mm)	110,43	55,21	27,6	13,8	6,9	3,45	1,72	0,86	41,23	126,48	170,48	177,22	735,38
Retención del suelo aplicada: 350 mm				Escorrentía anual: 23,3 l/s/km ²					Tipo climático: AC'6wa'				

Cuadro 4.3q. Ficha hídrica de Desierto de los Leones.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	11,1	9,4	9,2	9,0	9,3	10,8	12,0	13,0	13,2	12,1	12,1	12,3	11,1
Precipitación	73,3	17,2	13,9	28,3	11,7	18,3	45,8	82,4	259,6	244,1	248,2	196,9	1239,7
ETP	51,76	39,55	39,48	36,79	37,17	49,6	56,34	67,0	70,56	70,75	59,85	58,71	627,56
P-ETP	21,54	-22,35	-25,58	-8,49	-25,47	-31,3	-10,54	15,4	189,04	183,35	188,35	138,19	
Déficit acumulado	-	22,35	47,93	56,42	81,89	113,19	123,73	-	-	-	-	-	
Reserva útil	350	328	306	298	277	252	245	260,4	350	350	350	350	
Var. de la reserva	0	-22	-22	-8	-21	-25	-7	15,4	89,6	0	0	0	
ETR	51,76	39,2	35,9	36,3	32,7	43,3	52,8	67,0	70,56	60,75	59,85	58,71	608,83
Déficit de agua	0	0,35	3,58	0,49	4,47	6,3	3,54	0	0	0	0	0	18,73
Exceso de agua	21,54	0	0	0	0	0	0	0	99,44	183,35	188,35	138,19	630,87
Escorrentía (mm)	83,42	41,71	20,85	10,42	5,21	2,6	1,3	0,65	49,72	116,53	152,44	145,31	630,16
Retención del suelo aplicada: 350 mm				Escorrentía anual: 19,9 l/s/km ²					Tipo climático: AC'6wa'				

Cuadro 4.3r. Ficha hídrica de La Marquesa.

	octubre	noviem.	diciem.	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem.	anual
Temperatura	8,1	9,2	7,8	6,2	6,6	7,8	9,5	8,1	8,4	7,6	8,3	7,0	7,9
Precipitación	117,0	19,7	10,1	15,0	13,5	22,6	53,3	98,2	199,1	253,5	291,9	250,8	1347,7
ETP	48,72	48,02	42,3	33,96	34,51	46,5	56,34	53,6	53,76	50,62	53,2	43,26	564,79
P-ETP	68,28	-28,32	-32,2	-18,96	-21,05	-23,29	-0,04	44,6	145,34	208,88	238,7	207,54	
Déficit acumulado	-	28,32	60,52	79,48	100,53	123,82	123,86	-	-	-	-	-	
Reserva útil	350	322	294	278	262	245	245	289,6	350	350	350	350	
Var. de la reserva	0	-28	-28	-16	-16	-17	0	44,6	60,4	0	0	0	
ETR	48,72	47,7	38,1	31,0	29,5	39,6	56,3	53,6	53,76	50,62	53,2	43,26	544,96
Déficit de agua	0	0,32	4,2	2,96	5,41	6,9	0,04	0	0	0	0	0	19,83
Exceso de agua	68,28	0	0	0	0	0	0	0	84,94	208,88	238,7	207,54	808,34
Escorrentía (mm)	131,57	65,78	32,89	16,44	8,22	4,11	2,05	1,02	42,47	125,67	182,18	194,86	807,66
Retención del suelo aplicada: 350 mm				Escorrentía anual: 25,6 l/s/km ²					Tipo climático: AC'6wa'				

Cuadro 4.3s. Ficha hídrica de Cuarto Dínamo.

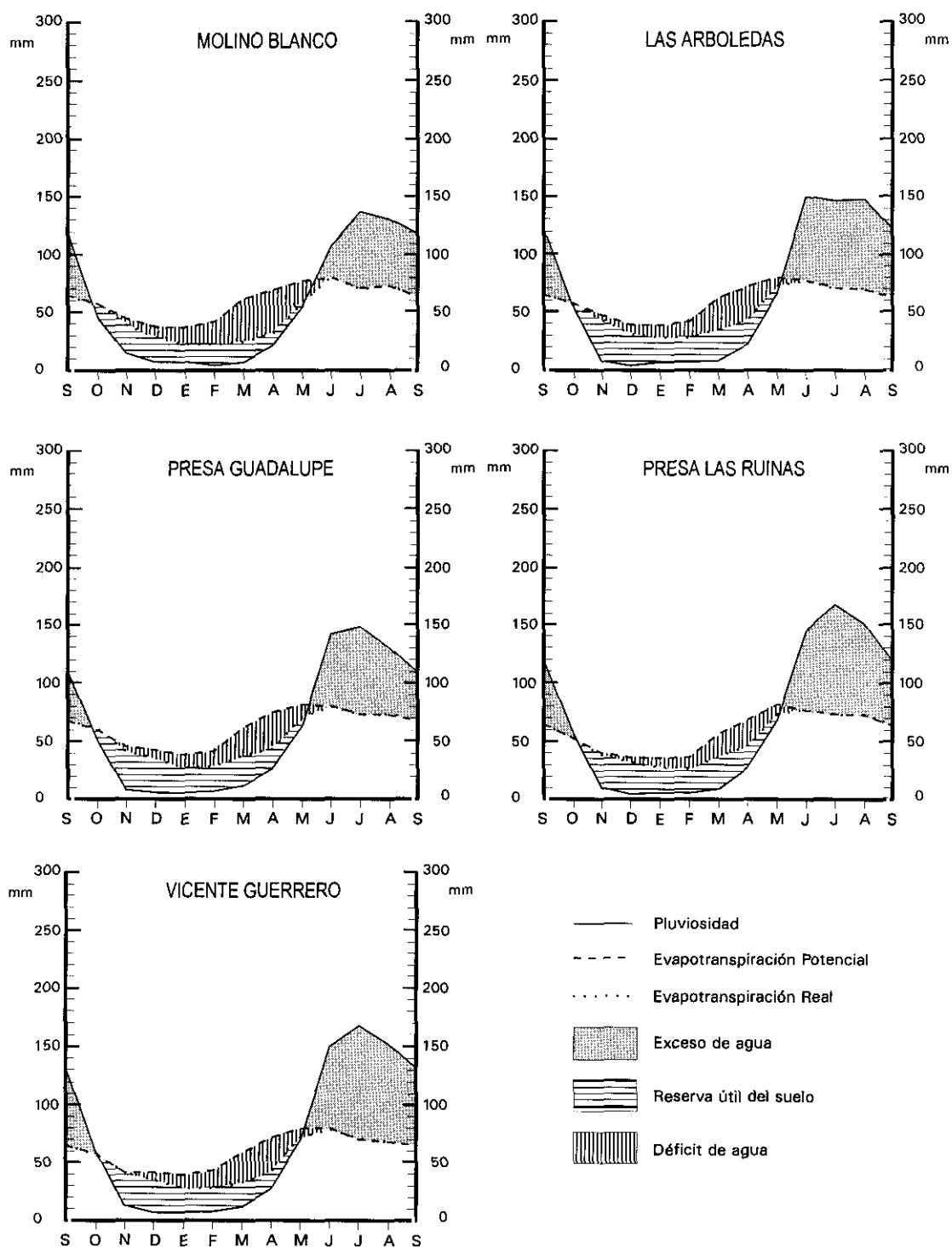


Figura 4.2a. Climodiagramas de Thornthwaite correspondientes a la franja de escorrentía teórica baja.

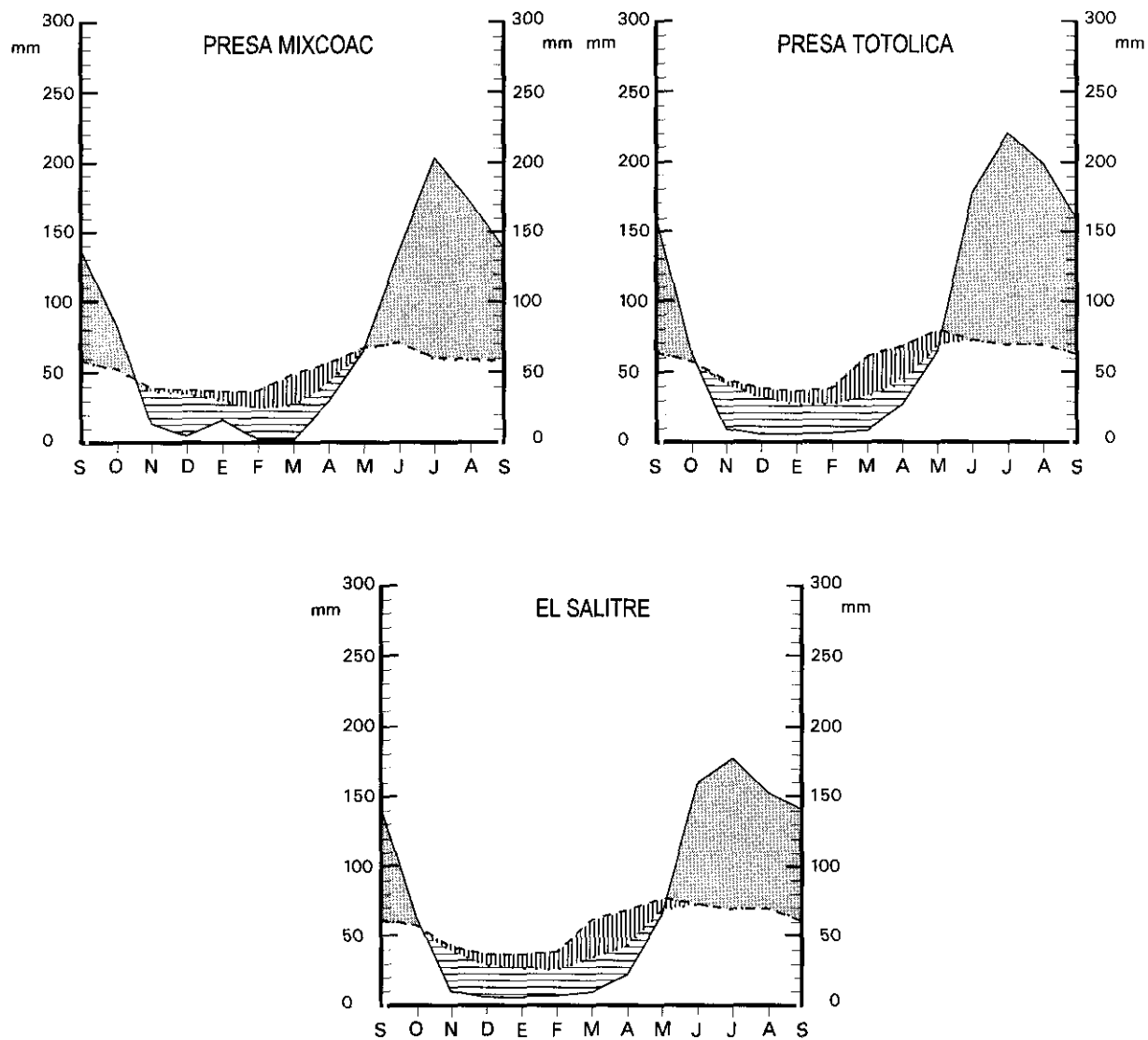


Figura 4.2b. Climodiagramas de Thornthwaite correspondientes a la franja de escorrentía teórica media-baja.

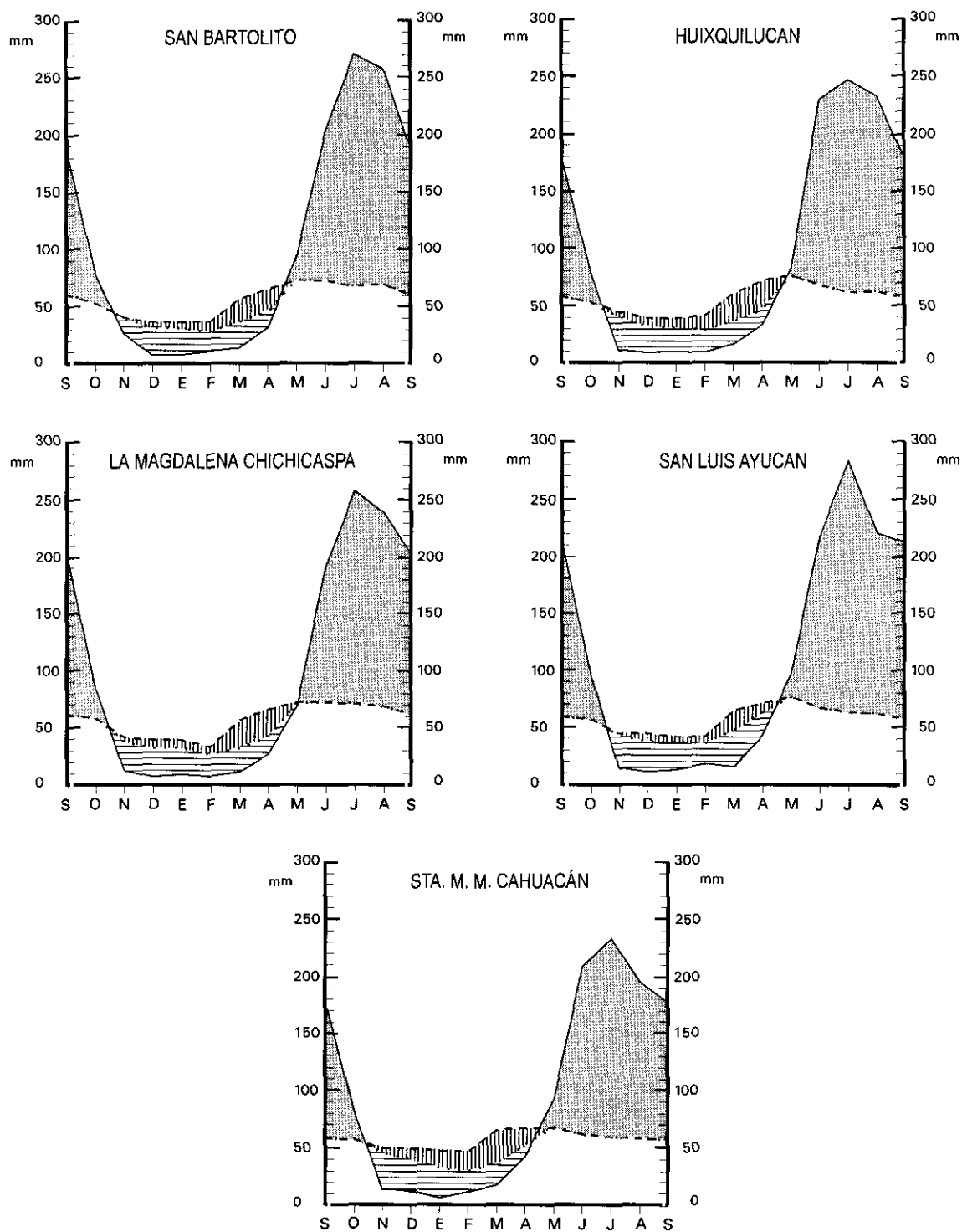


Figura 4.2c. Climodiagramas de Thornthwaite correspondientes a la franja de escorrentía teórica media-alta.

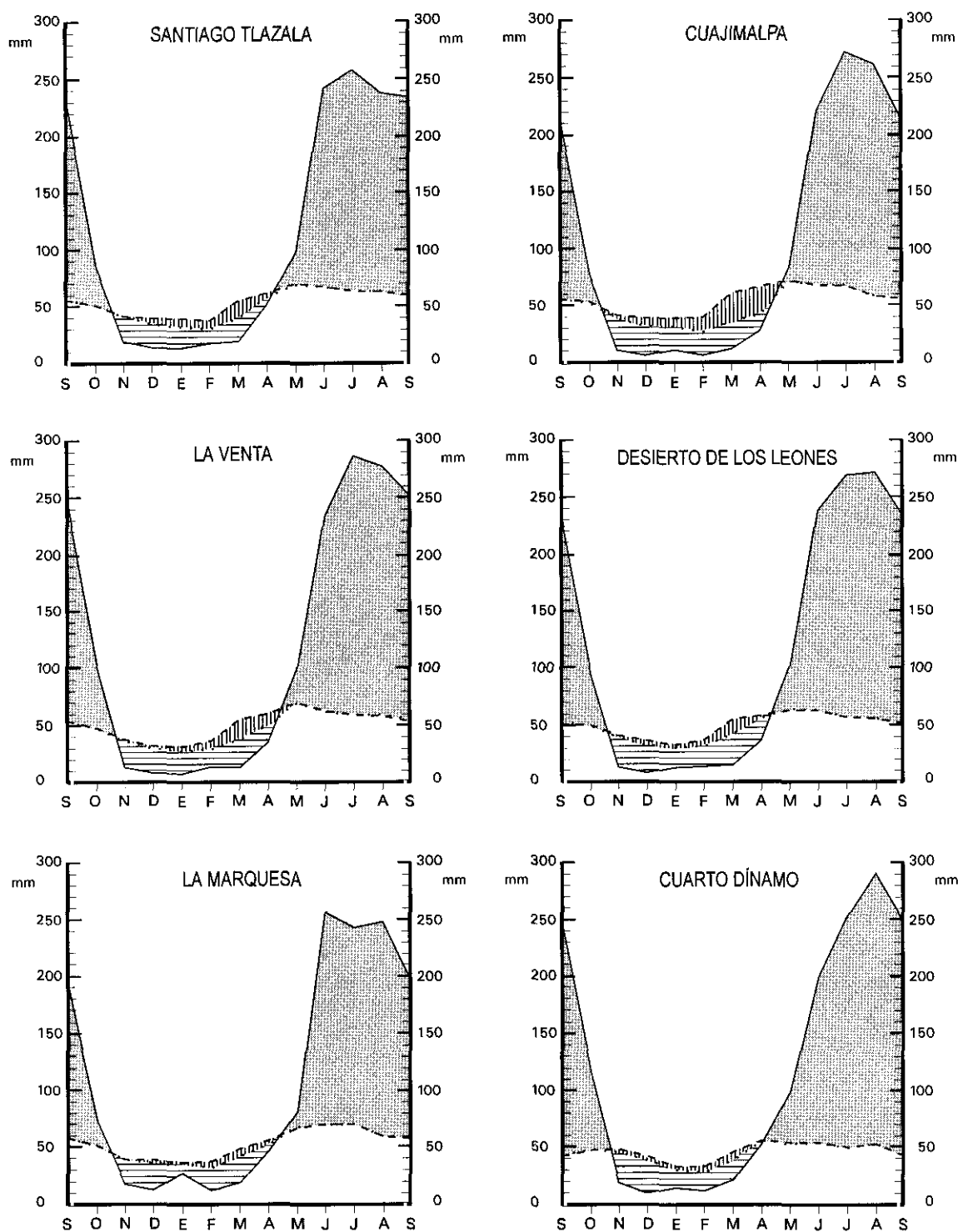


Figura 4.2d. Climodiagramas de Thornthwaite correspondientes a las franjas de escorrentía teórica alta (Santiago Tlazala, Cuajimalpa, La Venta, Desierto de los Leones y La Marquesa) y muy alta (Cuarto Dínamo).

los déficits de agua que tiene una media de 30 mm mensuales en marzo y abril (36.5 mm en Molino Blanco), cuando a las escasas lluvias se suma el efecto de las altas temperaturas de la primavera. Sólo en las laderas más altas y en las cumbres de los macizos montañosos los déficits son menos notorios y no suelen superar 10 mm mensuales -como se constata en los observatorios de La Marquesa y Cuarto Dínamo, donde las dos curvas de evapotranspiración corren casi juntas durante todo el año (fig. 4.2d)-.

En los sectores montañosos las primeras lluvias de abril comienzan ya a compensar la sequedad acumulada durante el invierno, aunque no es sino hasta junio cuando se producen mayores excedentes de agua, alcanzando valores mensuales muy altos, próximos a 200 mm (238,7 mm en agosto en Cuarto Dínamo), durante cinco meses, es decir, hasta octubre. Por su parte, en las áreas medias y bajas del piedemonte (con alturas inferiores a los 2300-2400 msnm) esta mejora hídrica se retrasa y los excedentes de agua se producen sólo en un periodo corto, que en el peor de los casos abarca nada más que dos meses al año (agosto y septiembre); éste es el caso de los ámbitos basales representados por las estaciones de Molino Blanco, Las Arboledas y Presa Guadalupe (cuadro 4.3a, b y c). Además, el valor de los excedentes mensuales queda muy por debajo -100 mm menos en promedio- de los alcanzados en las laderas altas de la rampa y en las montañas.

De esta forma la escorrentía, -es decir, la liberación de excedentes de agua susceptibles de fluir- es más abundante conforme aumenta la altitud, siendo en el mes de junio cuando aparece como un fenómeno propio de las áreas montañosas, que se va extendiendo hacia la base -con valores más modestos- conforme corre el verano. A partir de septiembre comienza a remitir en la base de la vertiente, generalizándose la recesión a partir de octubre en toda la vertiente.

4.3. La red de drenaje.

Las aguas de escorrentía que se generan en el área estudiada son drenadas por una amplia red de corrientes superficiales y de flujos subterráneos que nacen en las partes altas y medias de la vertiente, desde donde discurren con dirección al E y NE. A escala regional dicha red se integra al sistema hidrográfico de la

Cuenca de México, básicamente endorreico aunque artificialmente incorporado a la cuenca del río Pánuco, que drena hacia el Golfo de México una amplia área del centro y norte del país.

4.3.1. La influencia de la litología y la tectónica en el drenaje de las aguas de escorrentía.

Como se ha dicho con anterioridad, el hecho de que el territorio estudiado sea una vertiente de una alineación montañosa -y se extienda entre una divisoria de aguas y un nivel de base regional- tiene gran influencia en su dinámica y su organización hidrológica y afecta de forma especial a las modalidades de flujo de los excedentes hídricos. Son diversos los aspectos topográficos y morfoestructurales que intervienen en ello, destacado el volumen y la articulación de las unidades del relieve, las características litológicas de cada una de ellas y la tectónica que las afecta, así como la pendiente de las laderas y las rampas de piedemonte.

En las altas vertientes montañosas la circulación superficial y la hipodérmica son predominantes. No obstante, la alta capacidad de retención de humedad que tienen los suelos desarrollados sobre los recubrimientos cineríticos, el reducido espesor de éstos sobre todo en las proximidades de las cimas hace que a una distancia muy corta de la superficie afloren rocas volcánicas compactas y coherentes (andesitas) que limitan la percolación y favorecen la circulación superficial de las aguas producidas en las áreas de la divisoria. Dichas aguas alcanzan pronto las cabeceras o las laderas internas de los valles que -como se verá en el capítulo siguiente- han abierto los propios cursos de agua aprovechando por lo general sectores donde el roquedo se encuentra tectónicamente triturado y particularmente alterado. Consecuentemente, en ellos se produce la infiltración vertical de una parte apreciable de los caudales de escorrentía que pasan a alimentar sistemas intesticiales de circulación subterránea relacionados igualmente con la red de dislocación, prioritariamente con los grandes haces kilométricos de fracturas orientados al SW-NE (fig. 4.4).

Por debajo de 2800 msnm, en la rampa de enlace, los suelos tienen por lo común buen drenaje y el sustrato piroclástico o detrítico que los sustenta una alta

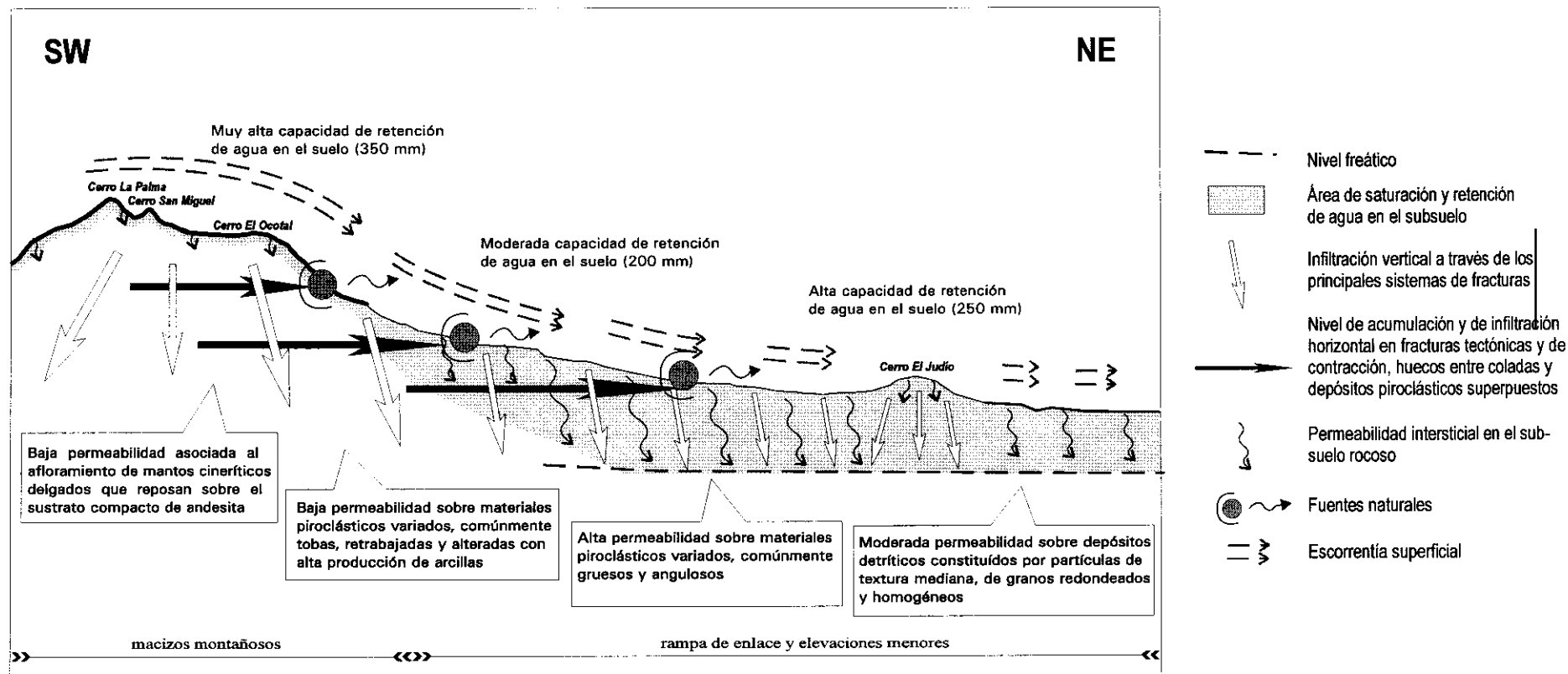


Figura 4.4. Esquema del ciclo de la escorrentía.

capacidad de percolación, conduciendo importantes volúmenes de agua desde la superficie hasta grandes mantos freáticos profundos, siendo factible la comparación de la rampa en su conjunto con una esponja que en el tiempo de verano absorbe una parte importante de los excedentes hídricos producidos en ella y procedentes de las montañas a través de la escorrentía superficial (fig. 4.4). Sin embargo, la cuantía de esta sustracción a favor de la escorrentía hipodérmica o subterránea varía sobre manera según las características de las formaciones volcanoclásticas y los depósitos que en cada lugar constituyen los piedemontes; entre ellas destacan la coherencia, el grado de cementación, la porosidad útil, la compactación, la textura y grado de redondez de los elementos de que están compuestas. Mientras que los depósitos de pómez tienden a ser altamente permeables, los flujos piroclásticos y la mayor parte de los lahares tienen permeabilidad media, siendo muy poco permeables las tobas y algunos lahares (Stanley y De Wiest, 1972). En todo caso, la disposición estratigráfica de los materiales y la localización de sus afloramientos introducen continuas y muy diversas variaciones en la modalidad de flujo del agua.

Pese a la compleja y cambiante distribución de los depósitos dentro de las estructuras pedemontanas, se puede generalizar diciendo que conforme se descende en altitud la pendiente decrece y los materiales están cada vez más sueltos, menos coherentes y su textura más redondeada y homogénea, todo lo cual tiende a incrementar progresivamente la porosidad, y consecuentemente la permeabilidad, en detrimento del escurrimiento superficial. No obstante, esta tendencia a la pérdida por infiltración de las aguas superficiales por un sustrato altamente permeable se ve atenuada por la riqueza en arcilla de los mantos de alteración y los suelos desarrollados sobre él. Un efecto similar en la limitación de las pérdidas por infiltración tienen los depósitos tobáceos que afloran en algunos sectores altos de la rampa de enlace, donde la mala percolación que los caracteriza, sumada al alto volumen de los aportes pluviales y a la mayor inclinación topográfica, se resuelve en una intensa dinámica superficial de los flujos (fig. 4.4).

4.3.2. La red de drenaje superficial.

Desde el punto de vista paisajístico el carácter más representativo de la

hidrografía del territorio es la alta densidad de las corrientes que disectan la vertiente. Constituyen éstas un sistema fluvial muy evolucionado que comprende 23 cuencas principales con nivel de base en el fondo de la cuenca de México, a una altura de 2240 msnm. Al alcanzar este nivel, la mayor parte de los cursos fluviales no fluyen hacia otros ejes mayores de drenaje ni hacia masas de agua lacustres o lagunares, sino que se pierden y desaparecen por infiltración en los sedimentos del piedemonte acumulativo. Teniendo en cuenta sus dimensiones y la extensión de las vertientes, así como los caracteres de su dinámica fluvial, se distinguen en la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo dos tipos de redes, que a continuación se analizan.

4.3.2.1. Las grandes redes hidrográficas.

Existen en el territorio tres redes hidrográficas principales, -las de los ríos Cuautitlán, Tlalnepantla y Hondo-, que sobrepasan cada uno los 100 km² de extensión y en conjunto representan el 60% de su superficie. La red del río Cuautitlán, con una longitud de 42 km, tiene su cabecera en el macizo montañoso Catedral y drena el tercio septentrional de la sierra (incluyendo el citado macizo volcánico y la extensa rampa Norte). A pesar de que ocupa el sector de relieve más tendido y menos tectonizado -en el que la dinámica fluvial es menos intensa en la actualidad- tiene una superficie algo superior a los 300 Km², doblando la de las cuencas de los otros dos ríos, lo que ha de entenderse como resultado de la mayor antigüedad de su instalación.

Las cuencas de los ríos Tlalnepantla y Hondo (ambos de 27 km de longitud) tienen un carácter distinto: son más pequeñas, 107 y 146 Km² de superficie respectivamente, pero ocupan sectores -muy tectonizados y de morfología más vigorosa, por lo que los procesos de incisión fluvial son en ellas más intensos, dominando los paisajes agrestes. El Tlalnepantla nace en el macizo Las Cruces y drena las laderas septentrionales de éste y parte de la rampa Centro-Norte; el Hondo, por su parte, tiene su cabecera en el área intermedia entre el citado macizo de Las Cruces y el de San Miguel (cuadro 4.4). En ambas cuencas los cursos principales discurren en todo su recorrido a lo largo de importantes sistemas de fracturas orientadas al noreste.

Cuenca/Subcuenca	Extensión de la Cuenca (km ²)	Longitud del curso principal (km)
grandes redes hidrográficas		
Río Cuautitlán	302,0	42,0
Río San Pedro Arroyo Xinté		
Río Tlanepantla	107,0	27,2
Arroyo Córdoba		
Río Hondo	146,0	27,5
Río Aramitza Arroyo Canaleja Arroyo Borracho		
redes hidrográficas de dimensiones medias		
Río La Magdalena	35,0	17,5
Arroyo s/n	15,0	5,5
Arroyo Cópore	11,5	5,0
Arroyo San Javier	35,7	13,3
Arroyo San Mateo	19,7	9,5
Arroyo Los Remedios	12,5	9,5
Arroyo Totolica	25,0	16,0
Arroyo Los Cuartos	23,2	17,0
Arroyo Los Jazmines	25,0	13,0
Arroyo Tecamachalco	14,7	11,0
Arroyo s/n	6,2	5,0
Arroyo Tacubaya	15,7	18,0
Arroyo La Piedad	12,5	8,2
Arroyo Mixcoac	35,7	21,5
Arroyo Puerta Grande	7,2	6,8
Arroyo San Angel Inn	16,7	13,5
Arroyo San Angel	9,0	9,3
Arroyo s/n	3,7	6,0
Arroyo El Rosal	8,0	10,0

Cuadro 4.4. Dimensiones de las cuencas hidrográficas y longitud de los cursos principales.

Como se pondrá de manifiesto con más detalle en el capítulo que se dedica al modelado superficial de la vertiente, estas tres grandes redes hidrográficas se establecieron y organizaron en el Pleistoceno, por lo que ya están muy bien jerarquizadas, son sus cauces axiales de quinto orden. Los principales ramales de sus cuencas -dos en el río Cuautitlán (San Pedro y Xinté), uno en el río Tlalnepantla (Córdoba) y tres en el río Hondo (Aramitza, Canaleja y Borracho)- son cursos de cuarto o quinto orden, de régimen permanente o semipermanente y de gran importancia hidrológica, geomorfológica y paisajística. Todos ellos son de longitud kilométrica con cabeceras extensas que alcanzan las cúspides de la sierra y densos e importantes sistemas de cursos de primer y segundo orden

Debido a la influencia tectónica la configuración de la red fluvial muestra con gran frecuencia y a diversas escalas rasgos propios de la adaptación de los cursos a las estructuras de dislocación: así, en las tectonizadas cuencas de los ríos Tlalnepantla y Hondo los cauces presentan una fisionomía más alargada, de trazados largos, paralelos y orientados al NE, al tiempo que los cambios de dirección angulares son frecuentes en la cuenca alta del río Cuautitlán (fig. 4.3). Un patrón característico también de la cuenca de este último río es el de cursos curvos que Ortiz (1987) llama “patrón ovoide”, el cual, según este autor, deriva de la adaptación de la red, no a líneas tectónicas, sino a zonas de contacto entre antiguos abanicos aluviales del piedemonte.

4.3.2.2. Las redes hidrográficas de dimensiones medias.

La superficie de la vertiente no incluida en las cuencas hidrográficas mayores a que se acaba de hacer referencia es drenada por una veintena de redes fluviales de mucha menor entidad que no exceden los 30 km² de extensión ni sus cursos son mayores a los 20 km de longitud -a excepción de los ríos La Magdalena y Mixcoac, cuya cuenca es de 35,0 y 35,7 km² respectivamente, alcanzando el segundo los 21,5 km- (cuadro 4.4).

A pesar de que estas redes son también antiguas (del Pleistoceno), su organización tiene un aspecto más joven que las anteriores, como lo constata la alta densidad de riachuelos y arroyos de escasa longitud que drenan las cuencas hasta muy cerca de su base. Todos estos cursos de agua en su conjunto son de

régimen estacional de verano y en ocasiones torrencial, quedando secos durante el invierno. Tienen, no obstante, una gran trascendencia paisajística, ya que se relacionan con el modelado de barrancos y cárcavas de gran impacto en la fisonomía y la dinámica de la vertiente. Esta fuerte capacidad de incisión se debe a que estos arroyos nacen en las faldas inferiores de los macizos y recorren la mayor parte de su trayectoria sobre la rampa de piedemonte (sólo los que tienen cuencas algo más extensas -como La Magdalena, Mixcoac, Los Cuartos, Totolica y San Ángel Inn- asientan sus cabeceras en las altas laderas montañosas), circulando de forma casi exclusiva sobre materiales particularmente poco resistentes: piroclastos afectados por dislocaciones tectónicas del NE. La baja resistencia de estos materiales ha propiciado un intenso encajamiento de los cursos principales y la evolución de barrancos o valles muy erosivos, cuyas cuencas de forma alargada tienen un solo cauce propiamente fluvial y por lo general carecen de ramales secundarios de longitud apreciable. No obstante, presentan una compleja jerarquización de las corrientes menores (definibles como regueros de arroyada concentrada), que rápidamente pasan de primero a segundo y tercer orden, lo que permite que la corriente principal alcance el cuarto o quinto orden.

Como el encajamiento de estas redes se efectúa a través de líneas de fractura, las cabeceras de los cursos de mayor jerarquía son sectores geomorfológicamente muy activos, en franco desarrollo, y caracterizados por su morfología angosta, no superando un kilómetro de anchura excepto las de los ríos La Magdalena, Mixcoac y Los Cuartos (que tienen de uno a dos kilómetros). La influencia tectónica se manifiesta también en la configuración planimétrica de las mismas, caracterizada por una disposición de los cauces paralelos entre sí, con numerosos cursos rectilíneos que se unen mediante quiebres en ángulo recto - como se observa en las cabeceras de los ríos Totolica y Los Cuartos (fig. 4.3)-. Sólo las redes de los arroyos que descienden de los pequeños cerros Totoltepec y El Judío y de la sierra del Tigre (como en el río Copara) se adaptan a la morfología de estas estructuras exhumadas mediante patrones de tipo radial.

4.3.3. El drenaje subterráneo.

Una de las características más notorias y de mayor trascendencia geoecológica de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo es la altísima capacidad de

infiltración de los materiales que forman su subsuelo, sobre todo en la rampa de piedemonte, como consecuencia de la cual los muy apreciables excedentes hídricos producidos en la vertiente parecen perderse, siendo escasos -y con frecuencia temporalmente discontinuos- los escurrimientos superficiales. Puede decirse que una parte mayoritaria de la escorrentía generada en todos los sectores del área se infiltra y circula por debajo de la superficie, a poca profundidad -como escorrentía hipodérmica-, o bien, alcanzando mayor profundidad, se incorpora a los mantos freáticos, cuya circulación bajo la influencia de la gravedad es hacia el este y noreste con dirección al fondo de la Cuenca de México.

En los sectores montañosos la infiltración se produce casi exclusivamente a través de las fisuras mayores debidas a la fracturación tectónica mientras que las vías de penetración asociadas con la naturaleza litológica de los materiales (porosidad, diaclasado por enfriamiento del magma, etc.) son relativamente escasas, pequeñas y poco profundas, por lo que su papel es secundario, en la rampa de enlace, por el contrario, el comportamiento hidrológico es más complejo, ya que en ella existen capas de materiales permeables (pómez, algunos flujos de piroclastos, sedimentos detríticos sepultados por los paquetes volcánicos o superpuestos a ellos), que confieren a esta gran unidad de piedemonte unas condiciones favorables para una penetración más abundante y generalizada de las aguas en el subsuelo. No obstante, también en ella los principales conductores y canalizadores de la infiltración profunda son, al igual que en las montañas, las franjas de alta densidad de fracturación -que comúnmente corresponden con el interior de los valles- donde el material suele estar triturado y alterado, por lo que se incrementa el volumen de oquedades y de porosidad útil.

Una parte de la escorrentía subsuperficial así captada vuelve a aflorar, al encontrar niveles impermeables más o menos profundos, dentro del ámbito de la propia vertiente, habiéndose reconocido cuarenta y cinco manantiales principales, concentrados en las áreas de mayor recarga de los tres macizos montañosos. El relieve agreste de estos elevados sectores permite el afloramiento de los horizontes acuíferos en el interior de las laderas empinadas de valles y barrancos, donde se originan fuentes naturales (como las del río Santo Desierto, al sur del pueblo de Acopilco, y en las escabrosas laderas del río

La Magdalena (fig. 4.3). Como su principal fuente de alimentación son los flujos subterráneos que circulan por las líneas de fractura y los contactos entre capas de distinto comportamiento hidrológico, un alto número manantiales es de régimen permanente, con volúmenes grandes en sus aportes, por lo que constituyen vías de obtención de recursos hídricos de gran importancia.

Desafortunadamente, no se dispone de registros fiables en relación con el volumen y el régimen de esta importantísima escorrentía subterránea ni de información suficiente para determinar la localización y extensión de los acuíferos. Alguna aproximación a estos temas se realizará más adelante, al tratar sobre los caudales aforados en los cursos de agua superficiales, considerando que la diferencia entre éstos y la escorrentía teórica, calculada con base en los datos climáticos y en la reserva útil de los suelos, ha de expresar aproximadamente el valor del drenaje subterráneo.

4.3.4. Las alteraciones naturales y antrópicas del sistema de drenaje.

Un aspecto de gran interés y que debe tenerse en cuenta es que, desde la formación de la sierra, el sistema de drenaje ha sido interferido o alterado por causas muy diversas. La más importante de estas alteraciones ocurrió cuando la salida natural de las aguas de la cuenca de México fue obstruida hace 700.000 años por la formación de la sierra de volcánica de Chichinautzin (situada al sureste de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo). Hasta ese momento la vertiente estaba integrada en un sistema de tipo exorréico y las corrientes en ella establecidas, con rumbo NE, cambiaban de dirección al alcanzar la base de la sierra, para dirigirse hacia el sur y fluir hacia ejes fluviales que desembocaban en el océano Pacífico. Con el establecimiento de esta situación de endorreísmo se interrumpió el drenaje inicial de la vertiente estudiada, lo que dio lugar a la inundación de la base de la sierra (y de todo el fondo de la cuenca) y a la comaltación de los tramos bajos de los valles por la excesiva acumulación de sedimentos fluviales, por debajo de la cota 2300 msnm.

Esta situación de total endorreísmo permaneció hasta tiempos históricos, ya que en época de la colonia española el drenaje de la cuenca de México fue abierto artificialmente y conectado al sistema del río Pánuco, que desemboca en las

costas atlánticas del Golfo. Con ello la red hidrográfica de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo recobró un cierto carácter exorréico, aunque ya con el sentido de flujo general hacia el noreste que se mantiene actualmente.

Por otra parte, a partir de la segunda mitad del siglo en curso se inició la explotación a gran escala de los recursos hídricos de la sierra. Desde entonces se ha construido una red de aproximadamente 100 km de acueductos y canales que transportan el agua captada por sus ríos, arroyos y manantiales, como consecuencia de lo cual se ha trastocado en mayor o menor medida el funcionamiento hidrológico de todas las cuencas, sobre todo las de los ríos que drenan los macizos de Las Cruces y San Miguel y las rampas que se extienden a sus pies. Durante el mismo lapso se construyeron la mayor parte de las 21 presas hoy existentes, cuyo emplazamiento tuvo la doble finalidad de proveer de reservorios para el abastecimiento de agua a la capital y controlar las avenidas que anualmente afectaban el sector occidental de la misma. Este último fue el objetivo fundamental por el que se construyeron la mayor parte de las presas pequeñas (Mixcoac, Tarango, Las Julianas, Los Cuartos, etc.), mientras que las presas de gran capacidad (Guadalupe, Madín e Iturbide) están destinadas fundamentalmente a captar los aportes de las grandes cuencas de los ríos Cuautitlán y Tlalnepantla para el abastecimiento humano. Los caudales de la cuenca del Hondo, en cambio, no se controlan por medio de represamientos, sino que son entubados directamente de las fuentes naturales y de las corrientes para su aprovechamiento agrícola y urbano; esta cuenca, así como las vecinas de Santo Desierto, La Magdalena y Mixcoac, soportan una explotación particularmente intensa (fig. 4.3).

4.4. El caudal y el régimen de los ríos.

4.4.1. Las estaciones de aforo.

Contrariamente a lo que podría esperarse dada la amplia utilización de sus recursos hídricos, la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo no cuenta con una adecuada red de estaciones de aforo, ya que sólo 11 de las 23 cuencas hidrográficas que existen en su territorio tienen este tipo de

instalaciones de control. Además, los registros de una buena parte de ellas no pueden considerarse representativos de los caudales y del régimen fluvial, pues se establecieron con el objeto de conocer los volúmenes de agua que salen de las presas con destino a la capital, por lo cual están emplazadas al pie de las mismas -y no, como sería deseable, a su entrada-.

En estas condiciones sólo ha sido posible utilizar los datos de siete estaciones de aforo, situadas todas en la mitad meridional de la vertiente, al sur del río San Javier. De las tres grandes cuencas sólo dos, las de los ríos Tlalnepantla y Hondo, disponen de este tipo de información, careciendo de ella la cuenca del río Cuautitlán, la mayor de todas y a la que vierten todas las unidades del norte de la sierra; el resto de las estaciones se encuentran en cuencas de menores dimensiones. Las series que se han empleado corresponden a un tiempo de registro próximo a los veinte años, período muy similar al que se utilizó para el estudio climatológico, con la finalidad de manejar datos lo más compatibles posible desde el punto de vista estadístico con los resultantes de éste (cuadro 4.5).

Cuenca	Estación	Latitud (norte)	Longitud (oeste)	Años de servicio
Río Tlalnepantla	Calacoaya IV	19°31'29"	99°15'20"	19
Río Hondo	El Molinito	19°27'13"	99°14'08"	19
Río La Magdalena	Santa Teresa	19°18'10"	99°14'10"	16
Arroyo San Javier	Las Arboledas	19°33'46"	99°12'57"	19
Arroyo Córdoba	El Salitre	19°30'11"	99°17'53"	19
Arroyo Los Remedios	El Conde	19°29'30"	99°14'08"	18
Arroyo Totolica	Totolica	19°27'55"	99°14'40"	19

Cuadro 4.5. Estaciones de aforo de siete cuencas hidrográficas.

En todo caso, hay que tener presente que los caudales registrados en las estaciones de aforo -situadas por lo normal en los tramos bajos de los ríos- no pueden representar los valores teóricos o "naturales" de la escorrentía, toda vez que en las partes altas de las cuencas se realizan importantes extracciones de agua, lo que se constata por la densa red de acueductos y canales que en ellas se puede observar (fig. 4.3).

Dadas la evidentes deficiencias de la información foronómica -tanto en cobertura superficial de la red como en representatividad de los registros-, se tienen graves vacíos en el desarrollo de este apartado, el cual por lo mismo solamente pretende presentar el análisis del caudal de algunas cuencas de la vertiente, resaltando, en la medida de lo posible, los aspectos más significativos que resultan del análisis comparativo de las estaciones.

4.4.2. El caudal medio.

En el análisis de los módulos absolutos medios anuales (cuadro 4.6) salta a la vista, en primer lugar que, contrariamente a lo que podría esperarse, la estación correspondiente a la cuenca más pequeña -la del río Los Remedios- registra el mayor caudal medio anual ($1,835 \text{ m}^3/\text{s}$), que dobla o triplica los valores de las otras cuencas. Exceptuando dicho caso, en el resto de las cuencas se aprecia un incremento en los caudales medios conforme aumenta la superficie drenada, pero siempre dentro de niveles que se han de calificar como bajos: aún en el caso de las cuencas más extensas y favorables para la escorrentía -las de los ríos Hondo, Tlalnepantla y La Magdalena- los módulos absolutos anuales son siempre inferiores a $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$, quedando muy por debajo de las capacidades hídricas atribuidas a los respectivos sectores de la vertiente. Puede decirse que en todos los caudales anuales que en todas ellas se registran únicamente significan entre el 15 y el 30% del agua recibida por precipitaciones y menos del 80% de la escorrentía teórica (calculada por medio del sistema de Thornthwaite) y en algunos casos, como en las de los ríos Hondo y La Magdalena, no pasa del 34% y 55% de esta, respectivamente (cuadro 4.6).

No resulta fácil creer que estos valores tan bajos en los caudales fluviales sean consecuencia exclusiva de los altos índices de infiltración a que antes se ha hecho referencia, toda vez que el más caudaloso río de Los Remedios atraviesa los mismos ámbitos constituidos por substratos piroclásticos tectonizados que los otros cursos con caudales muy bajos, como el Totolica y el Córdoba. Ello lleva a considerar que los caudales que circulan en los ejes fluviales de la mayoría de las cuencas están decisivamente influidos por las acciones humanas y que sus inesperados bajos valores medios son resultado ante todo del alto grado de explotación de los recursos hídricos efectuada por el hombre en un área

inmediata a una gran aglomeración urbana. Aunque es arriesgado generalizar a partir de informaciones insuficientes y correspondientes a situaciones aisladas dentro de un ámbito rico en variaciones y contrastes, podría suponerse que los altos caudales observados en el río de Los Remedios estarían más próximos que los restantes a los valores reales no afectados por las actividades antrópicas, por lo menos a los del sector central de la sierra (macizo de Las Cruces y sus piedemontes), debido sobre todo a que su cuenca es una de las que sufre menos extracciones de agua.

En el análisis de los módulos específicos (cuadro 4.6), en los cuales los caudales anuales se relacionan con las superficies drenadas, de nuevo se registran valores más elevados en las cuencas pequeñas que en las mayores -sobre todo que las de los ríos Hondo, Tlalnepantla y San Javier, presumiblemente más explotadas-. No obstante, en este sesgo se observa con claridad una tendencia al decremento de los caudales medios vertidos por Km² hacia la parte septentrional de la vertiente que, como se ha dicho con anterioridad, manifiesta unos parámetros pluviométricos y de escorrentía que la confieren un carácter algo más árido (particularmente definido en los entornos del río Tlalnepantla. Éste último, además de los ríos San Javier y Córdoba, registran los valores específicos medios anuales más bajos (cuadro 4.6).

Cuenca	Superficie (km ²)	Precipit. (m/s)	Escorrentía (m ³ /s)	M. Absoluto (m ³ /s)	a	b	M. Específico (m ³ /s/km ²)
Río Tlalnepantla	107,0	2,812	0,759	0,445	16	58	4,158
Río Hondo	146,0	5,304	2,467	0,856	16	34	5,863
Río La Magdalena	35,0	1,495	0,896	0,498	33	55	14,228
Arroyo San Javier	26,7	0,685	0,149	0,095	14	64	3,558
Arroyo Córdoba	19,7	0,517	0,139	0,114	22	82	5,786
A. Los Remedios	12,5	0,337	0,135	1,835	545	1.359	146,80
Arroyo Totolica	25,0	0,755	0,27	0,192	25	71	7,680

(a) Porcentaje del módulo absoluto respecto de la precipitación

(b) Porcentaje del módulo absoluto respecto de la escorrentía

Cuadro 4.6. Caudales medios anuales de siete cuencas hidrográficas

4.4.3. El ciclo hidrológico anual y el régimen de los ríos.

La distribución de los caudales medios a lo largo del año (cuadro 4.7 y fig. 4.5) manifiesta -al igual que la de las lluvias- una clara diferenciación en dos estaciones (húmeda y seca), apreciándose además, como era de esperar, un retraso temporal de los máximos y mínimos de caudal con respecto a los aportes pluviales. De esta forma, aunque la temporada de lluvias se instala desde el mes de mayo en las porciones altas de la vertiente, los incrementos de caudal no son apreciables hasta junio -coincidiendo con el momento en que la ETR alcanza a la ETP-. Desde este mes hasta octubre se extiende el período en que los caudales de los ríos son más abundantes, siendo agosto y septiembre los meses más caudalosos; en ellos el coeficiente de caudal se acerca a 3,5, sobre todo en las cuencas más pequeñas y septentrionales.

Efectivamente, la estacionalidad del régimen fluvial está mejor definida en las cuencas pequeñas, ya que reaccionan de una forma más inmediata y clara a las fuertes lluvias del verano. Y ello se observa tanto en los bruscos incrementos de caudal que registran en junio como en los descensos, igualmente bruscos, que sufren en octubre. Igualmente, la relativa sequedad que caracteriza a la mitad norte de la vertiente se manifiesta en el régimen -con un carácter estacional muy bien definido- de los arroyos situados en ella (aunque sea de forma marginal), como se aprecia en las curvas de coeficientes de caudal de los arroyos San Javier y Córdoba (fig. 4.5b).

Al llegar octubre los caudales de los ríos decrecen rápidamente como una reacción al descenso de la pluviosidad que caracteriza este mes y, a partir de este momento, continúan disminuyendo hasta enero y se mantienen bajos -con coeficientes de caudal en torno a 0,5- durante el resto de la estación de sequía. En este tiempo solamente los cursos más importantes de las cuencas grandes y que presentan un régimen algo más regular (ríos Hondo y Tlalnepantla) registran coeficientes de caudal por encima de 0,5.

cuenca		enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	sept.	octubre	noviem.	diciem.
Río Hondo Est. El Molinito	m. absoluto	0,474	0,399	0,355	0,367	0,474	0,915	1,468	1,692	1,829	1,048	0,696	0,563
	m. específico	3,256	2,732	2,431	2,513	3,246	6,267	10,054	11,589	12,527	7,178	4,767	3,856
	coef. de caudal	0,553	0,466	0,414	0,428	0,553	1,068	1,714	1,976	2,136	1,224	0,813	0,657
Río Tlalnepantla Est. Calacoaya	m. absoluto	0,317	0,285	0,249	0,26	0,291	0,543	0,689	0,683	1,004	0,271	0,394	0,354
	m. específico	2,962	2,263	2,327	2,429	2,719	5,074	6,439	6,383	9,383	2,532	3,682	3,308
	coef. de caudal	0,712	0,64	0,559	0,584	0,653	1,22	1,548	1,534	2,256	0,608	0,885	0,795
Río La Magdalena Est. Santa Teresa	m. absoluto	0,194	0,185	0,166	0,157	0,169	0,434	0,783	1,095	1,297	0,840	0,412	0,247
	m. específico	5,542	5,285	4,742	4,485	4,828	12,4	22,371	31,285	37,057	24,0	11,771	7,0
	coef. de caudal	0,389	0,371	0,333	0,315	0,339	0,871	1,572	2,198	2,604	1,686	0,827	0,495
Arroyo San Javier Est. Las Arboledas	m. absoluto	0,003	0,004	0,003	0,012	0,134	0,191	0,276	0,294	0,233	0,08	0,006	0,008
	m. específico	0,112	0,149	0,112	0,449	1,273	7,153	10,337	11,011	11,726	2,996	0,224	0,299
	coef. de caudal	0,031	0,042	0,031	0,126	0,357	2,01	2,905	3,094	2,452	0,842	0,063	0,084
Arroyo Córdoba Est. El Salitre	m. absoluto	0,021	0,014	0,011	0,008	0,030	0,203	0,221	0,270	0,316	0,199	0,045	0,031
	m. específico	1,065	0,71	0,558	0,406	1,522	10,304	11,218	13,705	16,040	10,101	2,284	1,573
	coef. de caudal	0,184	0,122	0,096	0,07	0,263	1,78	1,938	2,368	2,771	1,745	0,394	2,271
A. Los Remedios Est. El Conde	m. absoluto	0,749	0,726	0,673	0,597	0,792	1,875	3,251	4,085	4,576	2,707	1,122	0,87
	m. específico	23,26	22,546	20,9	18,54	24,596	58,229	100,962	126,863	142,111	84,068	34,844	27,18
	coef. de caudal	0,408	0,395	0,366	0,325	0,431	1,021	1,771	2,226	2,493	1,475	0,611	0,474
Arroyo Totolinga Est. Totolinga	m. absoluto	0,061	0,05	0,068	0,54	0,03	0,253	0,405	0,451	0,489	0,267	0,118	0,067
	m. específico	2,44	2,0	2,72	2,16	1,2	10,12	16,2	18,04	19,56	10,68	4,72	2,68
	coef. de caudal	0,317	0,26	0,354	0,281	0,156	1,317	2,109	2,348	2,546	1,39	0,614	0,348

Módulo absoluto o caudal medio en m³/s.

Módulo específico en l/s/km².

Cuadro 4.7. Ficha de caudales medios mensuales de siete cuencas hidrográficas.

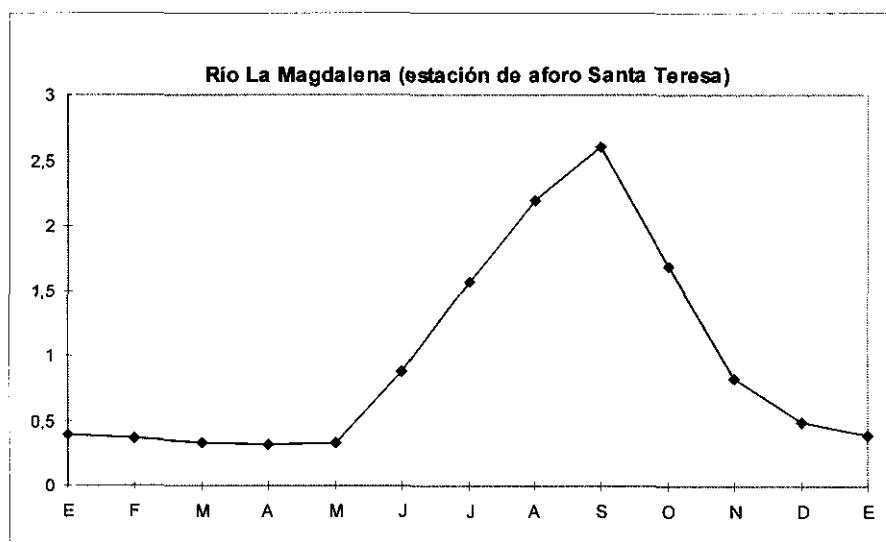
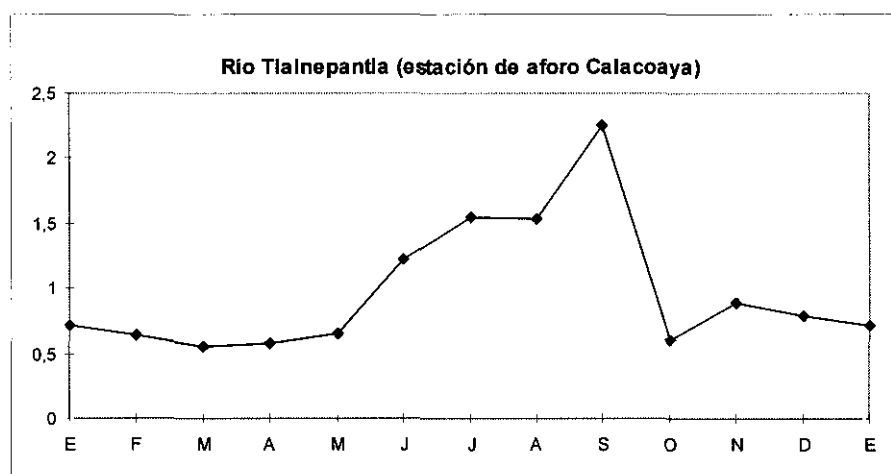
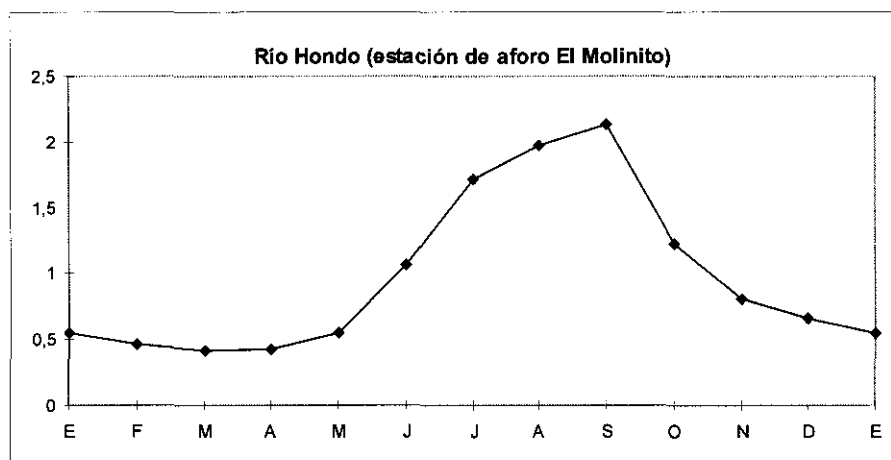


Figura 4.5a. Diagramas de coeficiente de caudal de los ríos Hondo, Tlalnepantla y La Magdalena.

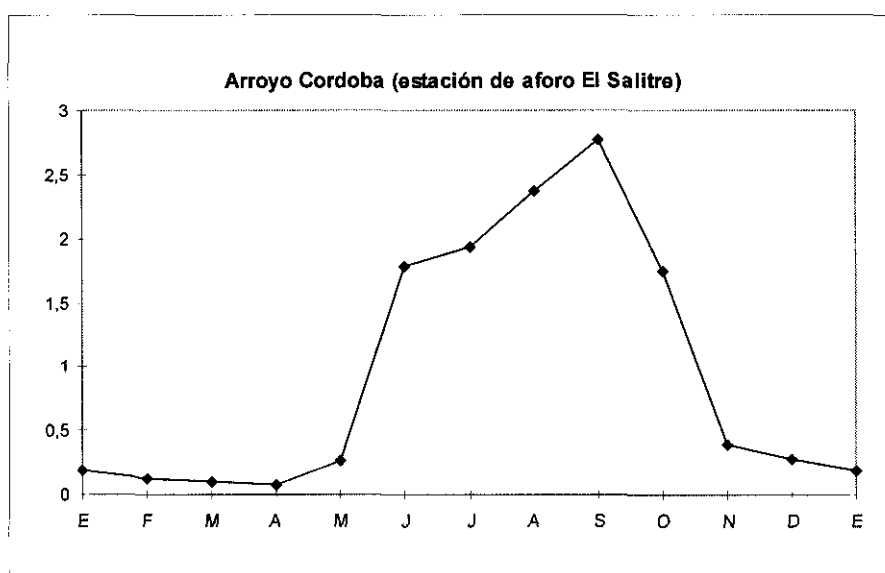
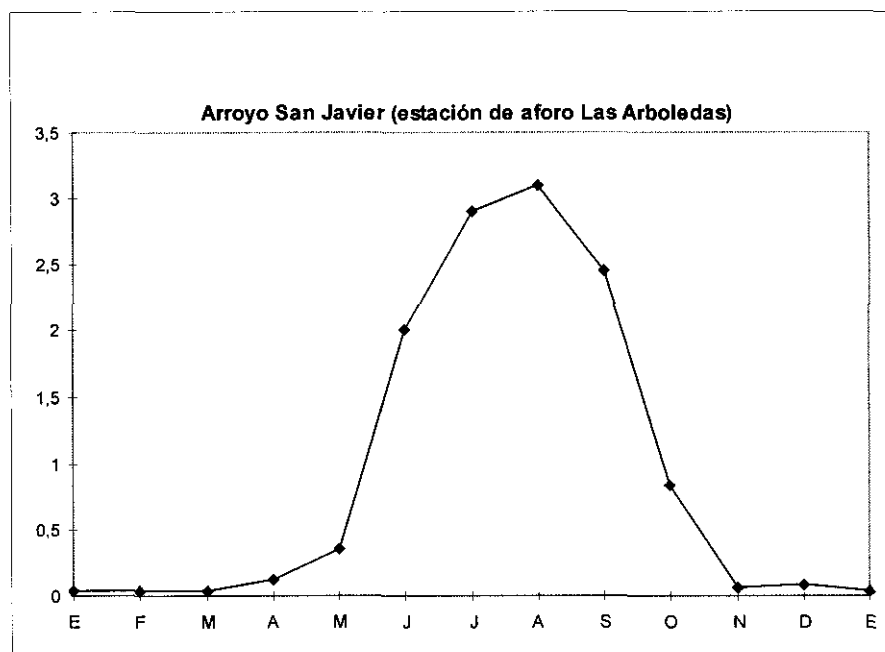


Figura 4.5b. Diagramas de coeficiente de caudal de los ríos San javier y Córdoba.

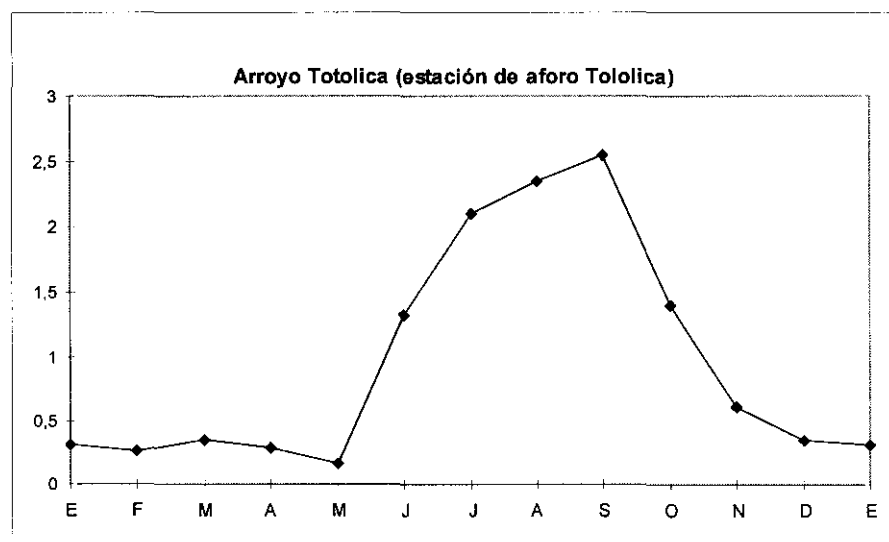
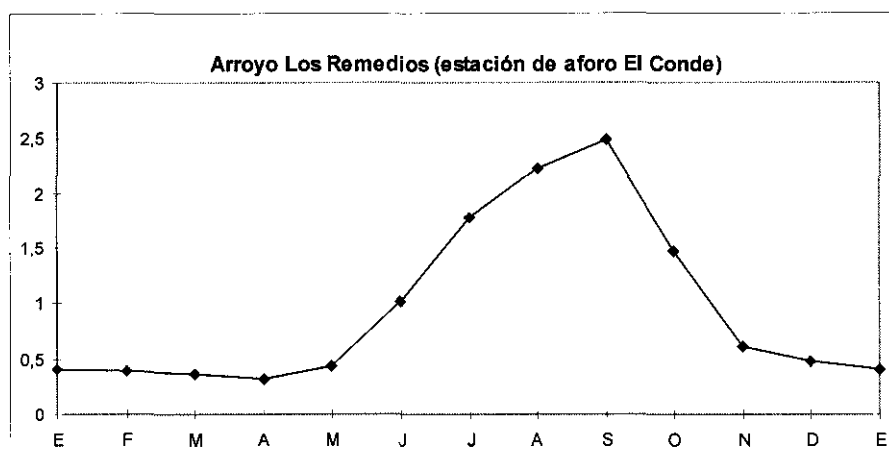


Figura 4.5c. Diagramas de coeficiente de acudal de los arroyos Los Remedios y Totolica.

4.5. Conclusiones.

El funcionamiento hidrológico del territorio estudiado es, a grandes rasgos, sencillo y refleja una clara dependencia del comportamiento climático - dependiente éste a su vez de la organización orográfica- y, sobre todo de las relaciones espacio-temporales entre las precipitaciones y las temperaturas. Por ello, desde el punto de vista hidrológico y de la misma forma que en el caso del clima, la superficie de la vertiente se distribuye en una serie de franjas altitudinales, que hemos llamado "de escorrentía teórica" al ser éste el parámetro que se manifiesta con cambios más evidentes en el paisaje. Estas franjas son cinco, quedando comprendidas las laderas montañosas -que corresponden a su vez con las áreas climáticas más lluviosas y frescas- en las dos de mayor escorrentía: de 600 a 800 mm y superior a los 800 mm anuales, respectivamente. De este modo y durante una temporada extensa del año los macizos de montaña son los que gozan de mejores condiciones hídricas, generándose en ellos los mayores excedentes hídricos.

La porción superior de la rampa de enlace queda comprendida en otras dos franjas de escorrentía menos abundante -las de 200 a 400 mm y de 400 a 600 mm anuales-. El decremento de las precipitaciones que en ella se aprecia, aunado a unos niveles termométricos algo más elevados y a unas capacidades de retención de agua menos satisfactorias, condicionan la existencia de una estación hidrológica marcada por apreciables déficits hídricos; en ella la ETR se rezaga de los valores potenciales de evapotranspiración y las reservas de humedad en el suelo manifiestan grandes pérdidas. No obstante los importantes volúmenes de escorrentía que se generan en ella y los aportes que recibe desde la montaña, se registran también grandes pérdidas en las aguas corrientes superficiales. Debido a ello los ríos son aquí poco caudalosos, viéndose evidentemente afectados por procesos de infiltración y recarga de mantos acuíferos.

Finalmente, en las partes bajas de la rampa de enlace -coincidiendo con el área del piedemonte acumulativo- la falta de grandes prominencias topográficas mitiga las lluvias y permite un caldeamiento más intenso y parejo de las superficies, lo que ocasiona altas tasas de evapotranspiración; todo ello sumado a la baja capacidad de retención de humedad en los suelos merma de forma considerable las existencias hídricas de estas partes bajas de la sierra, donde la

escorrentía no llega a los 200 mm de media anual. Además, el subsuelo tiene en ellas una altísima capacidad de infiltración -no de retención-, por lo que el agua excedentaria o recibida de las franjas superiores se pierde con facilidad, alimentando los sistemas de drenaje subterráneo. Y hay que resaltar también que los caudales que provienen de la montaña llegan a esta franja inferior sensiblemente mermados por la intensa explotación humana. Todo esto confiere a la base de la rampa el carácter de ámbito más marcado y prolongadamente seco.

Esta diferenciada e incluso contrastada organización hidrológica se traduce en los caracteres de la red de drenaje, cuyo estudio no ha podido ser realizado con la profundidad deseada debido a la falta de información sobre los sistemas de drenaje subterráneo y a la escasez de estaciones de aforo y de registros acerca de los cursos de agua superficiales. Pese a todo, se ha podido constatar cómo -a consecuencia de la infiltración y de la masiva sustracción de recursos hídricos por parte del hombre- los caudales que circulan por los ríos establecidos en la vertiente son claramente inferiores a la escorrentía calculada; sin embargo, el régimen fluvial traduce con claridad, aunque con cierto retraso, el ciclo fuertemente estacional de las precipitaciones que caracteriza a la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo.

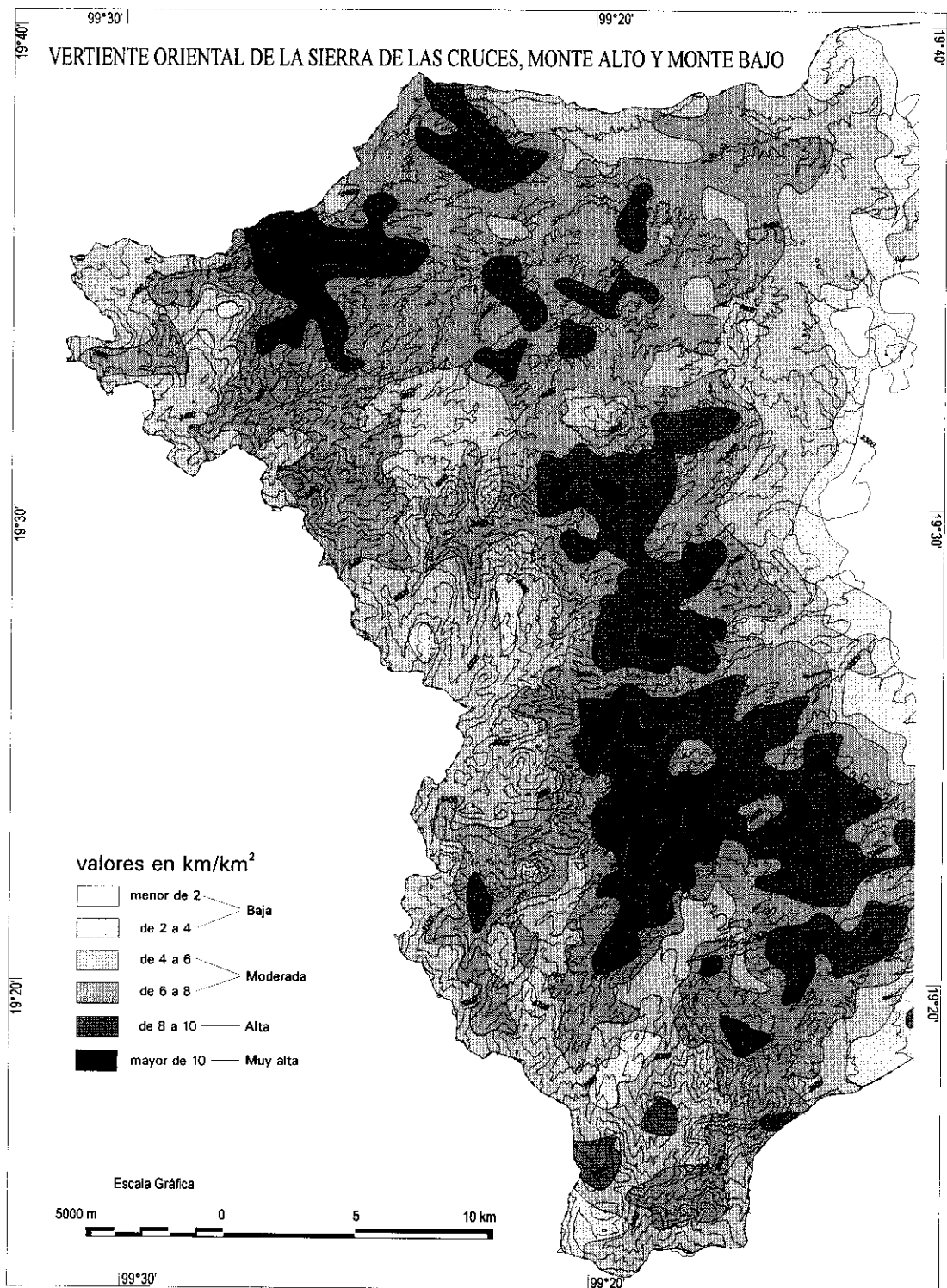
5. LA GEOMORFOLOGÍA.

La estructura y el funcionamiento globales del área estudiada además de la organización de sus paisajes son aspectos que dependen de la configuración de su relieve a escala media y de los mecanismos que han intervenido e intervienen en su modelado. Desde este punto de vista geomorfológico hay que resaltar dos hechos, que se manifiestan con gran evidencia en un primer reconocimiento de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo: en primer lugar, la relación de su morfología externa con procesos activos y adaptados a las condiciones bioclimáticas actuales (siendo limitado -y decreciente- el espacio ocupado por formas relictas, heredadas de sistemas morfogenéticos anteriores); y en segundo lugar, el predominio de las acciones de modelado ligadas a la esorrentía canalizada de las aguas en la génesis y la evolución del relieve que hoy caracteriza a todos los sectores de la vertiente. De hecho, el rasgo más representativo de ella y que mejor la define desde una perspectiva geomorfológica es la alta densidad de la red, fuertemente encajada en la mayor parte de los casos y que en algunos ámbitos llega a ser del orden de 10 km de longitud de cauces por km² de superficie (fig. 5.1).

Sin embargo, estos procesos relacionados con la esorrentía de las aguas no actúan de la misma forma ni tienen las mismas consecuencias en los macizos montañosos que en la rampa de piedemonte. Interactúan con mecanismos de preparación del material y de dinámica de laderas que no son constantes en el tiempo ni en el espacio y que muestran matices diferenciales bajo la influencia de dos factores fundamentales: el marco morfoestructural y el clima.

5.1. La influencia de las morfoestructuras en el modelado externo del relieve.

La compartimentación morfoestructural, que quedó establecida a comienzos de este análisis, implica en principio importantes variaciones, e incluso contrastes, topográficos que, sumados a los cambios litológicos del substrato y a los distintos estilos tectónicos dominantes en cada una de las unidades que



--- Límite del área de estudio

~ Curva de nivel

Acotamiento de las curvas de nivel a cada 100 m.

FIGURA 5.1

MAPA DE DENSIDAD DE DRENAJE

Fuente de la base topográfica: Cartografía a escala 1:50.000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1986.

Elaboró: Arturo García Romero.

Madrid, 1998

componen el área, influyen de modo a veces determinante en el modelado de los diversos sectores de la vertiente.

5.1.1. La altura, la forma y la orientación de la vertiente

El desnivel creado por el volcanismo y la tectónica de dislocación entre la base de la vertiente y sus cimas es -como se dijo- del orden de los 1500 m, los cuales se ascienden primero mediante una rampa de pendiente moderada (unos 7° en su porción intermedia) y después por medio de laderas montañosas de mayor inclinación, que pueden incluso presentar escarpes de varios cientos de metros de desarrollo, como sucede en las partes centrales de la sierra.

La existencia de este importante desnivel y la localización de las mayores pendientes en los sectores más elevados del área desempeñan un papel de gran importancia en la dinámica geomorfológica, ya que potencian las acciones erosivas y de arrastre, al tiempo que limitan la edafogénesis y la fitoestabilización en toda la vertiente, sobre todo en las laderas altas. Por otro lado, como se expuso en el apartado anterior, la distribución de las alturas en coordinación con la forma de la vertiente -a manera de plano de perfil cóncavo- influyen en la diferenciación de varios pisos termométricos, a cada uno de los cuales le corresponde un estilo más o menos peculiar de meteorización de las rocas. Así, mientras que en los niveles inferiores de la sierra los fenómenos de alteración y de desagregación mecánica tienen una importancia equilibrada y en cierto modo se complementan, en las porciones más altas las acciones de ruptura mecánica son predominantes e incluso presentan caracteres de tipo periglacial.

Igualmente, la altitud, la forma y la orientación de la vertiente intervienen de forma decisiva -como también se ha dicho- por medio de los efectos orográficos en la distribución de las precipitaciones: debido a ello en los macizos montañosos y la porción superior de la rampa de enlace, donde se reciben grandes aportes pluviales, se registra una mayor densidad y profundidad de líneas de drenaje que se traducen en una intensa actividad erosiva y mantienen una fuerte inestabilidad en las laderas de los valles y barrancos.

5.1.2. La litología.

Las características petrográficas de los materiales aflorantes, así como su forma de yacimiento y su encuadre dentro de las estructuras geológicas, tienen amplia trascendencia en la configuración y en la evolución geomorfológica del área. Desde este punto de vista, un primer aspecto a destacar es la básica homogeneidad en la composición química de las rocas volcánicas que constituyen el roquedo dominante (andesitas y dacitas y, en menor medida, elementos riodacíticos). Ello no impide, sin embargo, que muestren grandes diferencias en cuanto a textura, nivel de cohesión y arquitectura interna: el substrato rocoso de los macizos montañosos -en el que predominan las coladas lávicas y los cuerpos domáticos- es particularmente compacto y por ende más resistente que el de la rampa de enlace -compuesto mayoritariamente por acumulaciones de materiales volcanoclásticos o detríticos-. Pero hay que tener en cuenta que, también en los sectores de montaña, las rocas compactas están cubiertas con mucha frecuencia por materiales piroclásticos recientes -principalmente cenizas-, por lo que sus principales afloramientos están en paredes escarpadas, donde éstos han sido removidos, o en las laderas de los profundos valles y barrancos abiertos por los cursos de agua.

No obstante, el notable papel que también tiene la litología en el modelado de la rampa de enlace, pero el reconocimiento preciso y completo de su influencia es, por el momento, muy difícil de realizar, ya que la complicada sobreposición de variados tipos de depósitos volcánicos y clásticos -trastocados además por la tectónica- que constituye las formaciones de piedemonte ha impedido hasta hoy el conocimiento detallado de la distribución superficial de los afloramientos. Este déficit de información geológica resulta además acentuado cuando se observa cómo la resistencia intrínseca de los materiales varía de modo considerable incluso en un mismo depósito, al igual que su grado de alteración, su espesor y su permeabilidad. Ello confiere una gran importancia a la realización de una cartografía rigurosa de los afloramientos de cada uno de los componentes de la estratigrafía de la llamada "Formación Tarango" y a la observación sistemática de su comportamiento frente a la acción de los procesos externos. Dado que ese trabajo de localización y análisis no entra dentro de los objetivos de este estudio, solamente se ha reconocido y diferenciado el comportamiento de algunos de los materiales más característicos al tratar -más

adelante- algunos casos en que dicho comportamiento es la causa fundamental que explica su modelado.

5.1.3. La red de fracturación.

Sin duda, las líneas tectónicas de dislocación orientadas al SW-NE son las que mayor influencia han tenido en el modelado del conjunto de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, y las que se manifiestan geomorfológicamente con mayor claridad en el área de la rampa. En ésta la adaptación de la red hidrográfica a las fracturaciones de este sistema es un fenómeno común que ha dado lugar a la compartimentación del relieve en una serie de valles y crestas (o lomas aplanadas) que se suceden repetidamente con esta misma orientación. Además, como ya se explicó en el apartado correspondiente, las referidas fracturas del SW-NE se concentran en los macizos de Las Cruces y San Miguel y en los sectores del piedemonte situados a sus pies, haciendo que su roquedo sea particularmente erosionable, y algunas de ellas actualmente todavía activas, confiriendo una gran inestabilidad a las laderas.

Otro patrón tectónico de importancia en este mismo sentido es el que orienta sus estructuras de fracturación preferentemente de E a W. Dichas dislocaciones, muy recientes, se formaron con posterioridad a la génesis de la rampa por lo que no es notorio en ellas el desgaste causado por los agentes del modelado; sin embargo, con frecuencia mantienen una cierta actividad que favorece la inestabilidad geomorfológica y acelera el modelado de las vertientes.

5.2. La influencia del clima en el modelado.

De acuerdo con lo expuesto en el capítulo dedicado al clima, el modelado actual del relieve se efectúa bajo ambientes climáticos que van de templados a fríos y de subhúmedos a muy húmedos, pero caracterizados siempre por un régimen pluviométrico estacional: con un semestre invernal seco y un semestre estival - de mayo a octubre- en el que se concentra la mayor parte de las lluvias.

El volumen y la distribución del agua precipitada durante esta estación lluviosa constituyen los aspectos climáticos de mayor significación morfodinámica, ya que controlan la actividad de las redes de escurrimiento superficial y subsuperficial que, como se ha dicho, desempeñan un papel central en el sistema de modelado de la vertiente. Un papel que resulta acentuado por el hecho de que las mayores precipitaciones se reciben en los agrestes sectores medios y altos de la sierra, desde donde el trabajo erosivo de las aguas corrientes se expande por toda la vertiente.

Por otra parte, las acciones meteóricas relacionadas con la congelación y el deshielo son más intensas en las áreas montañosas, por encima de los 3400 msnm aproximadamente, en las que los descensos térmicos por debajo de 0° son muy frecuentes -prácticamente continuos en el invierno-, lo cual en presencia de agua favorece la gelifracción de los materiales compactos y la crioturbación de las formaciones deleznales y de los suelos. También las neblinas y las "precipitaciones ocultas" (escarchas, rocíos) influyen en la actividad de los procesos externos en estos sectores altos de la vertiente, así como en el interior de los valles de la rampa de enlace: en todos los casos proveen de un suplemento de agua ambiental para el funcionamiento de ciertos fenómenos meteorizantes o de remoción que requieren de humedad en el suelo o el subsuelo.

5.3. Las herencias del modelado del Pleistoceno.

Cuando la actividad eruptiva responsable de la construcción de la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo concluyó en el Pleistoceno superior, las evidencias morfológicas de antiguos sistemas de modelado vigentes en el Plioceno y el Cuaternario inferior habían quedado destruidas por el intenso volcanismo o recubiertas por los productos de éste. Como consecuencia de ello puede decirse que el modelado de las geoformas que observamos en la actualidad en la sierra, se ha producido en el corto intervalo que abarca desde los últimos tiempos del Pleistoceno hasta el presente: un intervalo en el que - pese a su relativa brevedad y antes del establecimiento del bioclima actual- se han sucedido diversos ambientes bioclimáticos que han dejado alguna huella en el relieve del área.

Según los estudios geomorfológicos realizados, las formas más antiguas del modelado que se observan en la vertiente datan del tercer gran enfriamiento climático del Pleistoceno (la glaciación Illinoise en Norteamérica). Después de él parece que la sierra sufrió la influencia de otros períodos fríos sucedidos por uno cálido y subárido. Al final de este último las condiciones climáticas cambiaron gradualmente hasta colocarse en la situación húmeda y templada o fresca, con fuerte contraste pluviométrico estacional, que domina en la actualidad. Y hay que recalcar que el sistema morfogenético establecido en relación con ella se caracteriza por su dinamismo y su elevada competencia modeladora, por lo que las evidencias morfológicas de los sistemas anteriores, en especial de los fríos, son escasas y con frecuencia poco claras (de ahí también la notoria escasez de trabajos que aborden el tema).

5.3.1. El modelado durante los últimos períodos fríos del Pleistoceno superior.

De acuerdo con Mooser (1988), la glaciación Illinoise de Norteamérica pudo tener consecuencias importantes en el modelado de la vertiente estudiada. Durante la pasada década este autor junto con otros propusieron la existencia de morrenas de esta edad en algunos valles con perfil transversal en “U”, situados en el macizo meridional de San Miguel (ríos Santo Desierto y Atzoyapan), así como en algunas otras localidades montañas del sur de la sierra. Sin embargo, estos posibles depósitos de morrena al ser sometidos a análisis -fundamento de tal teoría-, resultaron ser flujos piroclásticos, por lo cual hay que pensar que los depósitos dejados por la actividad glacial, si es que la hubo, fueron arrasados tras el emplazamiento y la puesta en funcionamiento de los cursos de agua actuales.

Queda como apoyo a la existencia de algunas formas glaciares heredadas de la tercera glaciación norteamericana el hecho de que, en las porciones altimontañas -por arriba de los 3000 msnm- se encuentran varios valles y cabeceras fluviales excepcionalmente amplios y poco incididos por la red actual, lo que sugiere una intensa morfogénesis en condiciones frías que desde luego no concuerda con las características morfogenéticas actuales. En concreto, las cabeceras de los ríos Santo Desierto y La Magdalena -localizadas en el extremo meridional de la

sierra y enmarcadas por sus mayores cumbres- son más amplias (miden unos 4 km) que las de otros valles próximos claramente incididos por la vigente actividad fluvial, sin que esta diferencia pueda ser justificada por causas de origen tectónico ni litológico.

Por otro lado, Mooser (1975) y Ortíz (1987) han señalado la presencia de testimonios geomorfológicos relacionados con acciones eólicas no vinculadas a la circulación atmosférica actual sino a los vientos de valle y de montaña que tuvieron gran trascendencia en el área durante el Pleistoceno: estas acciones de deflación y acumulación habrían controlado la redistribución de los materiales volcánicos más finos (principalmente cenizas) que recubrían las laderas montañosas, favoreciendo su desplazamiento desde éstas hacia los niveles más bajos de la vertiente e incluso su expansión por toda el área de la cuenca de México. Sin embargo, esta interpretación no está lo suficientemente sustentada por los hechos, ya que la potencia de los depósitos de tobas es mayor conforme aumenta la cercanía a los centros de emisión. Además tras su depositación se compactaron y conformaron los niveles tobas muy comunes en diversos afloramientos de la rampa de enlace (que, al alterarse, han adquirido unas tonalidades claras de crema, amarillo, rojo y marrón).

5.3.2. El modelado durante los últimos períodos de clima semiárido del Pleistoceno superior.

Dentro del marco temporal del Pleistoceno superior, y probablemente coincidiendo con lo que en la cronología del Cuaternario norteamericano se conoce como interglaciar de Sangamón (de hace 80.000 a 100.000 años), se registró en el centro de México una fase de clima cálido con clara tendencia subárida. Bajo el dominio de este tipo de ambiente, predominaron en toda la vertiente las acciones eólicas y los procesos ligados a una escorrentía esporádica y no concentrada (arroyada difusa y laminar), cuyas morfologías derivadas se han conservado en varios sectores. Durante este período subárido la organización morfoestructural (y posiblemente la morfología heredada de las fases frías) de cada uno de los sectores del área tuvo una gran influencia en la evolución del relieve, como lo atestigua fundamentalmente la disimilar evolución de la rampa de enlace.

En el sector norte de la rampa -de relieve tendido y poco accidentado y constituido por vulcanoclastos más bien finos de textura y comúnmente sueltos- el viento y, sobre todo, la arroyada laminar o en manto (*sheet flood*, según Ortíz, 1987), arrastraron y redistribuyeron los materiales más superficiales del piedemonte volcánico, dando lugar a la evolución sobre éste de un glacis de erosión. La concentración de la escorrentía fue excepcional en este sector y solamente en cortos episodios -debido a un incremento en los aportes pluviales o a reajustes tectónicos (según lo confirma Ortíz, 1987)- pudo establecerse y encajarse levemente una incipiente red fluvial. De estos episodios de concentración de la escorrentía parece datar la apertura de los valles de los ríos Cuautitlán y Tlalnepantla.

Por su parte, en las laderas montañosas y en los sectores centrales y meridional de la rampa de enlace también actuaron durante esta fase de subaridez las acciones eólicas y la arroyada en manto, pero su topografía más vigorosa y accidentada hizo que la erosión ocasionada por estas corrientes laminares de agua fuese mucho más intensa, arrastrando mayores volúmenes de material de un substrato más grueso y compacto y construyendo con ellos un glacis de acumulación que prolonga el piedemonte volcánico. Además, la tendencia de las aguas a canalizarse en cauces con cierta capacidad de encajamiento fue más clara y reiterada, ya que estuvo favorecida por la presencia y la actividad de las dislocaciones tectónicas. En concreto, los haces de fracturas del SW-NE que cortan a los materiales de la rampa Sur facilitaron la concentración de las aguas de arroyada y permitieron que éstas efectuaran una notable incisión: resultado de ello es la apertura de los barrancos más importantes que accidentan el centro y sur de la vertiente (entre los que destacan los comprendidos entre los ríos Tacubaya y La Magdalena).

Otro elemento heredado de la fase subárida previa al establecimiento de las condiciones morfoclimáticas actuales, es el peculiar manto de alteración que conservan las rocas en numerosas áreas. El calor y la sequía permitieron el desarrollo de importantes procesos de ferruginización, de descalcificación y de precipitación de carbonatos que afectaron en sobremanera a los depósitos de cenizas volcánicas re TRABAJADAS por la acción eólica, que son muy evidentes en

algunos depósitos masivos (de más de 30 m) de tobas de coloración rojiza, con encalichamientos a diversos niveles.

5.4. El modelado externo en las grandes unidades del relieve.

Atendiendo a criterios morfométricos y morfodinámicos, la vertiente estudiada se ha dividido en cuatro grandes unidades de relieve, que vienen a coincidir con los conjuntos morfoestructurales de primer orden anteriormente definidos y cada una de las cuales presenta una particular combinación de formas de modelado (o "morfoesculturas") de dimensiones medianas o pequeñas. Estas unidades diferenciadas por su paisaje geomorfológico son los Macizos montañosos, el Piedemonte superior, el Piedemonte inferior y los Relieves montañosos menores, cabe señalar que el parámetro que inicialmente se ha utilizado para su diferenciación y comparación fue la densidad de drenaje, debido a que la red de cauces es uno de los elementos que mejor sintetiza el patrón de modelado actual en la vertiente y a que dicha red es bien reconocible en toda ella, siendo viable su análisis a nuestra escala de trabajo (fig. 5.1).

5.4.1 El modelado en los macizos montañosos.

El sector montañoso de la vertiente abarca -como se ha dicho- los relieves más prominentes que se extienden por encima de los 2800 msnm en promedio, con alturas que superan los 3500 msnm en diversos enclaves culminantes de la divisoria. Tiene la forma de un frente orográfico alargado, con orientación general al NNW y cuyo relieve se adapta, también a escala media, a las estructuras de los complejos volcánicos Catedral, Las Cruces y San Miguel, caracterizándose en consecuencia por presentar en general y de forma evidente una morfología peniprimitiva de tipo endógeno. Puede decirse que, en el estado actual del modelado, las áreas de montaña de la sierra, tienen la mayor parte de su superficie ocupada por diversas formas de relieve estructurales (es decir por morfoesculturas altamente controladas por los parámetros geológicos y tectónicos), entre las que destacan los domos y conos volcánicos, las planicies o campos de material piroclástico, las superficies modeladas sobre derrames lávicos y los valles erosivos abiertos en los materiales fracturados.

- Los domos y conos volcánicos.

En el mapa geomorfológico (fig. 5.2) se muestran siete grandes relieves dómicos, de altura relativa superior a 300 m y diámetro entre 1.5 y 3 km. Se localizan dos -los de Catedral y Las Palomas- en el extremo septentrional de la sierra, otros dos -los de La Palma y San Miguel- en el meridional y los tres restantes -los de Gachupín (que engloba tres domos), Ñangó y Texcané- a lo largo del eje transversal que arranca de la parte norte del macizo central de Las Cruces, situándose en ellos algunas de las mayores elevaciones del área.

Con la única excepción del domo de La Palma, integrado en el edificio volcánico mejor conservado de la sierra y que puede considerarse una forma de relieve estructural casi directa, los grandes domos citados se adaptan a cuerpos dómicos intercalados en construcciones volcánicas más antiguas que fueron destruidas durante el Pleistoceno por la actividad de sus propios centros de erupción o por colapsos y derrumbes, así como por erosión; se trata, pues, de formas estructurales derivadas de la exhumación y puesta en relieve de dichos cuerpos dómicos por los procesos externos. Así, los domos septentrionales de Catedral y Las Palomas se adaptan a cuerpos que estuvieron contenidos en el interior de un gran estratovolcán hoy desmantelado en su totalidad; igualmente el meridional de San Miguel se encuentra circundado por relieves escarpados a modo de cresta que pueden interpretarse como restos de un edificio complejo del mismo tipo.

Junto con estas morfoesculturas mayores se han reconocido y cartografiado otras setenta formas estructurales menores, entre las que se encuentran domos, domos-colada y conos de piroclastos, los cuales constituyen resaltes topográficos de entre 50 y 100 m de altura y hasta un kilómetro de diámetro, aunque los más altos pueden alcanzar 250 m y los domos-colada hasta 2 km en su eje mayor. Pese a que son formas muy comunes en toda la superficie montañosa, se aprecia la existencia de dos concentraciones principales, una en el macizo montañoso Catedral y otra en el de Las Cruces. En relación con ellas hay que resaltar que durante el último periodo de actividad volcánica en la sierra fueron cubiertas por capas de piroclastos, principalmente de cenizas, que ocultaron su sustrato rocoso y suavizaron su topografía; es sobre estas acumulaciones de material suelto sobre las que se desarrollaron los suelos que soportan los densos bosques de

- Los domos y conos volcánicos.

En el mapa geomorfológico (fig. 5.2) se muestran siete grandes relieves dómicos, de altura relativa superior a 300 m y diámetro entre 1.5 y 3 km. Se localizan dos -los de Catedral y Las Palomas- en el extremo septentrional de la sierra, otros dos -los de La Palma y San Miguel- en el meridional y los tres restantes -los de Gachupín (que engloba tres domos), Ñangó y Texcané- a lo largo del eje transversal que arranca de la parte norte del macizo central de Las Cruces, situándose en ellos algunas de las mayores elevaciones del área.

Con la única excepción del domo de La Palma, integrado en el edificio volcánico mejor conservado de la sierra y que puede considerarse una forma de relieve estructural casi directa, los grandes domos citados se adaptan a cuerpos dómicos intercalados en construcciones volcánicas más antiguas que fueron destruidas durante el Pleistoceno por la actividad de sus propios centros de erupción o por colapsos y derrumbes, así como por erosión; se trata, pues, de formas estructurales derivadas de la exhumación y puesta en relieve de dichos cuerpos dómicos por los procesos externos. Así, los domos septentrionales de Catedral y Las Palomas se adaptan a cuerpos que estuvieron contenidos en el interior de un gran estratovolcán hoy desmantelado en su totalidad; igualmente el meridional de San Miguel se encuentra circundado por relieves escarpados a modo de cresta que pueden interpretarse como restos de un edificio complejo del mismo tipo.

Junto con estas morfoesculturas mayores se han reconocido y cartografiado otras setenta formas estructurales menores, entre las que se encuentran domos, domos-colada y conos de piroclastos, los cuales constituyen resaltes topográficos de entre 50 y 100 m de altura y hasta un kilómetro de diámetro, aunque los más altos pueden alcanzar 250 m y los domos-colada hasta 2 km en su eje mayor. Pese a que son formas muy comunes en toda la superficie montañosa, se aprecia la existencia de dos concentraciones principales, una en el macizo montañoso Catedral y otra en el de Las Cruces. En relación con ellas hay que resaltar que durante el último periodo de actividad volcánica en la sierra fueron cubiertas por capas de piroclastos, principalmente de cenizas, que ocultaron su sustrato rocoso y suavizaron su topografía; es sobre estas acumulaciones de material suelto sobre las que se desarrollaron los suelos que soportan los densos bosques de

coníferas y *Quercus* que aún existen (y en ocasiones inhiben en gran parte los procesos de ladera).

Aunque la mayoría de estos conos y domos se encuentran sobre los 3000 msnm, es decir en la franja de mayor pluviosidad de la vertiente, el modelado efectuado por la escorrentía de las aguas sobre ellos es escaso. Por lo general y como consecuencia de la alta capacidad de retención y percolación de algunos materiales piroclásticos -sobre todo de las cenizas volcánicas-, la red de corrientes superficiales presenta densidades comparativamente bajas de entre 4 y 8 km/km².

Sin embargo, algunas de estas formas de planta más o menos circular se encuentran afectadas por otros factores estructurales que aumentan su susceptibilidad a la erosión hídrica, como ocurre comúnmente en las estructuras del macizo montañoso San Miguel. Por ejemplo, en los domos Teopazulco, Los Padres y Las Víboras los procesos de incisión son favorecidos por la densa dislocación tectónica de los materiales: la red de cauces sobre ellos es de las más densas, con valores de 10 km/km². Y este encajamiento de la red en los relieves favorece la apertura vertiente abajo de valles erosivos, con laderas empinadas (de pendiente superior a 25°) e inestables afectadas por procesos de gravedad y de arroyada concentrada.

- Las planicies de material piroclástico.

Estas planicies o suaves depresiones cerradas se sitúan por encima de los 3400 msnm y exclusivamente en la mitad norte de la sierra, siendo la mayoría de escasa extensión. Por ello en el mapa geomorfológico se ha cartografiado sólo la mayor, el Llano de Laguna Seca. Su origen se asocia con antiguas depresiones topográficas generadas por el volcanismo en la parte alta de algunos macizos que fueron rellenadas por los piroclastos emitidos durante las últimas erupciones (Lugo, 1990) o por los materiales finos lavados o transportados por el viento desde las laderas de los domos y conos circundantes. El mal drenaje del agua que reciben permite la hidratación de los citados materiales y la formación de arcillas con alta capacidad de absorción de humedad, que impermeabilizan estos

ámbitos convirtiéndolos en enclaves pantanosos donde se acogen turberas en parte activas.

En el momento actual estas turberas de altura se encuentran afectadas por procesos de tinte periglaciario -debidos a los reiterados ciclos de congelación y deshielo en niveles subsuperficiales-, de los cuales los más representativos son la crioturbación, la formación de lentejones de hielo y la segregación de agujas de hielo. Pese a ello, la edafogénesis es intensa, con desarrollo de suelos negros de bastante espesor, colonizados normalmente por una densa cubierta de pastizal. Esta cubierta, junto con el escaso declive topográfico, limitan la evolución de la red de drenaje y reducen al mínimo su capacidad de incisión, de modo que el flujo de las aguas en estos ámbitos es difuso y carente de concentración, lo que permite el mantenimiento de su topografía suave y aplanada.

- Las superficies modeladas sobre derrames lávicos.

Los derrames lávicos generados por el volcanismo del Pleistoceno tienen su arranque en los sectores culminantes de la vertiente y se pueden encontrar desde el eje de la sierra hasta el contacto entre la montaña y el piedemonte -que los sepulta-, teniendo desarrollos longitudinales que oscilan de 5 a 8 km. Desde el punto de vista geomorfológico estas unidades constan de dos componentes: las superficies y los frentes.

Las superficies, adaptadas al techo de los niveles de lava, suelen estar recubiertas por mantos de material piroclástico y son de escasa pendiente -inferior a 4° -; por lo que la red de drenaje que las afecta es comúnmente poco profunda y de baja densidad de corrientes -entre 2 y 6 km/km²-. Ello no impide, sin embargo, que algunos cauces se hayan encajado fuertemente y abierto valles de notable profundidad, como en el tramo alto del valle del río Cuautitlán y en el valle de La Cañada del Silencio (con 300 y 250 m de profundidad respectivamente). La explicación de estos grandes fenómenos de incisión en superficies globalmente afectadas por los cursos de agua se encuentra casi siempre en el aprovechamiento de líneas de dislocación tectónica que rompen la continuidad de los derrames lávicos: muchos de estos valles se adaptan con claridad a líneas de dislocación (y en algunos de ellos -de perfil transversal en

“U”- se puede suponer un posible modelado glaciar durante el Pleistoceno superior).

Los frentes de los derrames lávicos, por su parte, marcan el contacto entre la montaña y el piedemonte y se caracterizan por el vigor de sus pendientes, que comúnmente superan los 25° y localmente pueden formar escarpes de hasta 400 m de desarrollo, lo cual implica en principio un incremento sustancial del potencial erosivo susceptible de traducirse en impactos geomorfológicos muy apreciables en el contexto de la vertiente. La razón de ser de estos escarpes es complejo y presenta diferencias: en unos casos parece evidente un control tectónico (de ahí que algunos de ellos fueran clasificados por Ortíz (1987) como "escarpes compuestos"), lo que sugiere una adaptación al menos inicial de los mismos a planos de fracturación; en otros, el contacto litológico entre las resistentes lavas de la montaña y los materiales clásticos, más deleznales del piedemonte parece ser el factor determinante de la aparición de los frentes por erosión diferencial.

Sea cual sea el origen de cada uno, estos frentes escarpados se sitúan -entre los 2700 y los 3000 msnm- dentro de la franja de clima frío y muy lluvioso, como consecuencia de lo cual el modelado actual incluye procesos de meteorización fundamentalmente mecánicos, incluso la crioclastia, que ven incrementada su eficacia por la fragilidad del material lávico y la existencia en él de importantes redes de diaclasas, favorables a una mejor penetración del agua. Si esto ocurre en el presente -cuando el descenso de las temperaturas por debajo de los 0° tiene una frecuencia moderada- es lógico suponer que durante las pulsaciones frías del pasado la fragmentación de las rocas de estas vertientes inclinadas y desnudas fue más intensa y propició un marcado retroceso de las mismas por medio de acciones gravitatorias más continuadas y eficaces que en la actualidad.

Todo indica que hoy la actividad de las clastias se encuentra en retroceso sobre los frentes lávicos, crecientemente estabilizados por una cubierta biótica de tipo forestal. Esta fitoestabilización tiene sin embargo diverso ritmo según estén o no recubiertas por mantos de piroclastos con espesor apreciable. Así, en aquéllos donde se han acumulado capas piroclásticas potentes la vegetación ha alcanzado un elevado recubrimiento, inhibiendo las acciones de meteorización e interfiriendo el trabajo de los agentes del modelado. Por el contrario, en las

escarpes lávicos cubiertos por mantos delgados y discontinuos de piroclastos (o carentes de ellos), la colonización por parte de la vegetación es más limitada y el rol de ésta es más favorable a la erosión que a la estabilización. La cubierta vegetal se concentra en enclaves donde crea microclimas particularmente húmedos y fríos que facilitan la acción de los procesos de fragmentación; así mismo, participa en la destrucción física de las rocas debido al crecimiento de las raíces en el interior de las diaclasas y, de forma secundaria, a las alteraciones provocadas por el intercambio de sustancias químicas que se lleva a cabo por la actividad de las micorrizas.

Es el borde del macizo montañoso Las Cruces el que contiene los frentes lávicos inestables más extensos de la vertiente. Se trata de las laderas empinadas y localmente escarpadas, sobre las que se asientan los saltos de cabecera activos de numerosas corrientes, como los principales afluentes de los ríos Ojo de agua, los Cuartos y Canaleja (fig. 5.2).

- Los valles erosivos.

Los ejes de los sistemas hidrográficos más importantes del territorio (ríos Hondo, Tlalnepantla, Cuautitlán, etc.) nacen en el sector montañoso de la vertiente, sobre todo en las laderas de los domos mayores y en las superficies y frentes modelados sobre derrames lávicos. donde se acogen en valles erosivos con perfil transversal en forma de "V", con una profundidad máxima de 250 m y una anchura de hasta 2 km, sus cabeceras -que pueden ser muy amplias- se encuentran por lo general cercanas al eje de la sierra. Constituyen ámbitos de particular significado geomorfológico, ya que en sus laderas internas, permanentemente inestabilizadas por el encajamiento de los cauces, se concentra en la actualidad el mayor dinamismo morfogenético de la montaña.

A pesar de que son formas que mantienen hoy una apreciable actividad, su mayor apertura se remonta a los periodos fríos del Pleistoceno superior, en que la meteorización y la dinámica de vertientes debieron ser mucho más intensas que en la actualidad, desarrollándose bajo condiciones que se pueden calificar mayoritariamente de periglaciares. La morfología abierta con laderas escarpadas, que se aprecia con particular claridad en los valles altos de los ríos

Cuautitlán y La Magdalena, sugiere una ralentización del encajamiento del cauce y un eficaz retroceso de las laderas, fenómenos que son ajenos a las condiciones actuales de su dinámica geomorfológicas y que cuadran sin embargo con las propias de un ambiente crionival. Se puede suponer que en este ambiente la crioclastia fue un mecanismo de alta eficacia que favoreció generalizados fenómenos gravitatorios directos e indirectos ("caída libre", solifluxión, arroyada nival, etc.) capaces mantener una fuerte inestabilidad en las vertientes internas de los valles, haciéndolas retroceder paralelas a sí mismas. En algunos casos la configuración morfológica o la presencia de ciertos depósitos sedimentarios evocan la actividad de procesos ligados a la presencia de hielos permanentes; como se expuso anteriormente, diversos autores han planteado la posible intervención de glaciares en el modelado de algunos sectores de estos valles, pero los hechos en que se apoyan no resultan del todo convincentes.

Bajo las condiciones climáticas del periodo de evolución actual, las acciones de tinte periglaciario (gelifración, caída de derrubios, crioturbación, etc.) siguen ocurriendo, aunque tienen poca intensidad y se encuentran confinadas a las partes más altas de los macizos (por encima de los 3400 msnm). Los procesos más representativos son hoy, además de la incisión fluvial sobre los cauces, la arroyada difusa y concentrada que controla -asistida circunstancialmente por fenómenos de gravedad localizados y de gran envergadura (desprendimientos y deslizamientos de rocas)- la dinámica de las laderas. Las partículas así desplazadas se acumulan en la parte baja de éstas y en el fondo de los valles constituyendo típicos conos o abanicos de coluviones, que suelen ser de pequeñas dimensiones y muy inestables, ya que casi inmediatamente a su formación son desmantelados y sus materiales incorporados a la carga de las corrientes fluviales.

Hay que señalar finalmente que el trabajo de evacuación y de incisión de los cursos de agua principales establecidos en el sector montañoso de la sierra de las Cruces y Monte Alto, aprovechando las líneas o franjas de mayor debilidad litológica o tectónica, tiene un marcado ritmo estacional. De acuerdo con su régimen, la mayor parte del tiempo estos ríos de montaña llevan una carga constituida fundamentalmente por partículas de textura fina (limos y arcillas), que se transportan en suspensión. Solamente en la temporada de lluvias, la mayor activación de los sistemas erosivos en las laderas permite la

incorporación de partículas de mayor calibre a los lechos fluviales, por los que entonces circulan caudales más voluminosos, rápidos y turbulentos; siendo en esta temporada cuando los ríos tienen un altísimo poder erosivo.

5.4.2. El marco general del modelado en los piedemontes superior e inferior.

El piedemonte serrano se inicia al pie de las montañas, a 2800 msnm en promedio, y aparece en términos generales como una rampa de perfil longitudinal levemente cóncavo y de reducida pendiente -inferior, desde luego, a la de las vertientes montañosas-, siendo la principal característica de su modelado externo la alta densidad de cauces que la disecan a todo su ancho. Esta elevada densidad de disección es resultado de la morfogénesis actual, puesto que las evidencias morfológicas, a que se ha hecho referencia al comienzo de este mismo capítulo, muestran con claridad que anterior al establecimiento de la actual red de drenaje, los materiales volcánicos superficiales del piedemonte fueron barridos y arrastrados por procesos eólicos y de arroyada en manto o imperfectamente concentrada y carentes de jerarquización. Una gran cantidad de los materiales así desplazados se depositaron en forma de glaciares o de abanicos aluviales en el borde de la sierra, donde conformaron un piedemonte detrítico-acumulativo. No obstante, ya en este período en que el pie de la sierra adquiere su configuración en rampa, la esorrentía comenzó a concentrarse en algunos sectores meridionales del área, afectados por dislocaciones tectónicas orientadas al SW-NE, permitiendo así la formación de los primeros barrancos erosivos con perfil transversal en "V".

En el último período de evolución del piedemonte la actividad torrencial se desencadenó en toda la vertiente y llevó al establecimiento de la actual red de drenaje. Aunque no es posible conocer con precisión en qué momento ocurrió el cambio en el patrón de modelado, todo indica que al producirse la transición climática hacia los ambientes templado-fríos y húmedos que dominan actualmente -y coincidiendo, con fases de intensa actividad tectónica en el fondo de la cuenca de México (Ortíz, 1987)- cesaron las actividades de erosión laminar y de acumulación que venían modelando la rampa y se desencadenó un rápido

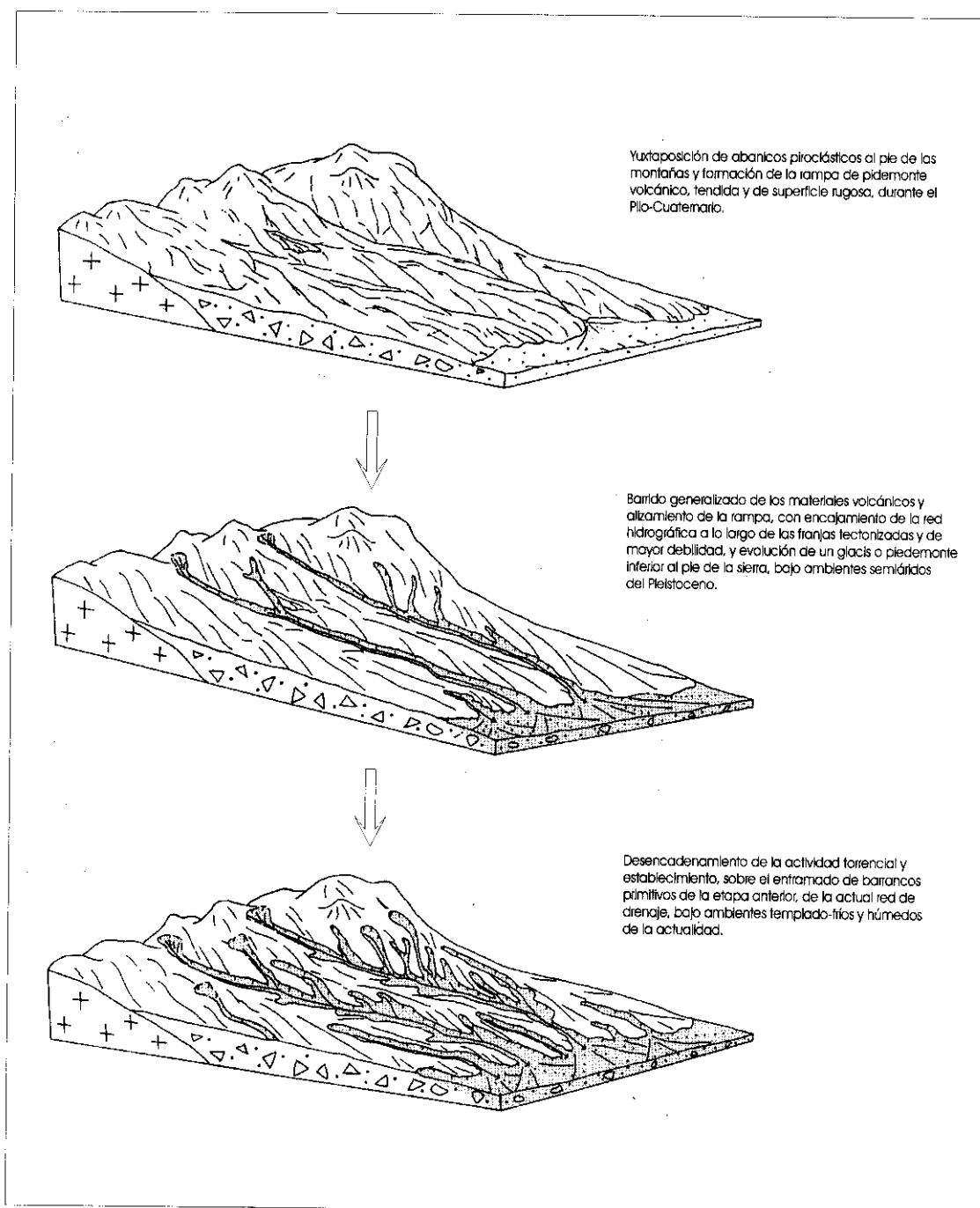


Figura 5.3. Bloques diagrama que representan tres etapas del modelado externo de la rampa de piedemonte

Al apreciarse cambios de cierta importancia en el modelado de cada una de las unidades morfoestructurales en que se dividió la rampa (relacionados en gran parte con la extensión, la pendiente, la litología, el grado de tectonización y el modo de enlace con las laderas de los respectivos macizos montañosos), el análisis geomorfológico del piedemonte superior se ha articulado en tres partes correspondientes a la rampa Norte, a la rampa Sur y a las rampas centrales.

5.4.3.1. El modelado en el piedemonte superior de la rampa Norte: los valles disimétricos acarcavados.

Extendido al pie del macizo Catedral, con cuyas laderas enlaza de forma suave y progresiva, este sector septentrional se sitúa entre las cotas 2400 y 2800 msnm, siendo desde sus orígenes el de morfología más extensa y tendida debido a que se formó sobre materiales volcánicos texturalmente finos (con escaso contenido de bloques), menos cohesivos y poco afectados por la tectónica reciente. Como consecuencia de ello, la actual red de drenaje se estableció sobre una superficie muy regularizada y con baja densidad de drenaje inicial, constituida sólo por los ejes mayores de las redes de los ríos Cuautitlán y Xinté, que ya habían comenzado su canalización sobre cauces relativamente estables en momentos bastante precoces del Pleistoceno superior.

Uno de los aspectos más importantes del modelado en este sector norteño del piedemonte superior -separado del resto, como se dijo, por el cordal transversal de Texcané, Ñangó y Gachupín- es el desarrollo durante el Pleistoceno superior de una extensa red de afluentes a los ríos Cuautitlán y Xinté, que modelaron valles de perfil transversal asimétrico. Dichos valles, cuya orientación básica es SW-NE, combinan de forma sistemática una ladera de ataque -más corta y empinada- situada en la margen derecha del lecho fluvial y una ladera de acumulación -más extensa y tendida- situada en la margen izquierda del mismo, lo cual indica la tendencia de las corrientes a desplazarse durante su encajamiento hacia el SE (posición en que se encuentra el fondo tectónicamente subsidente de la Cuenca de México). (Fig. 5.4)

Sin embargo, este desplazamiento lateral de la red no está vigente en la actualidad, ya que la morfogénesis de los valles es igualmente intensa en ambas

laderas, aunque con ciertas diferencias provocadas por las condiciones derivadas de una disimetría generada con anterioridad y que responde, según todos los indicios, a factores de índole tectónica no vigentes.

Las laderas de la margen derecha, con pendiente de 20° en promedio, más cortas y de perfil recto o cóncavo, se disponen en umbría (miran hacia el NW), lo que las confiere un ambiente algo más húmedo y fresco y favorece su cobertura por un manto continuo de vegetación que contrarresta el potencial erosivo derivado de su topografía relativamente empinada. En ellas el modelado se realiza principalmente por una densa red de barrancos y cárcavas de pequeñas dimensiones que, aunque activos la mayor parte del tiempo, no se desarrollan ni amplían apreciablemente mientras el recubrimiento vegetal se mantiene. Constituyen, pues, ámbitos de frágil equilibrio en los que, durante las últimas décadas, las intervenciones humanas (deforestación, apertura de caminos, construcción descontrolada de viviendas) han sido importantes factores de inestabilización, que han tenido consecuencias geomorfológicas significativas.

Por su parte y en contraste con las anteriores, las laderas de la margen izquierda son de menor pendiente (10° de inclinación por término medio) y más extensas, por lo que se muestran más tendidas. Tienen perfil recto o convexo y enlazan de forma suave con las lomas o plataformas alargadas y estrechas (correspondientes a la superficie de la rampa previa al encajamiento de la red fluvial), que las dominan y con las que se integran dinámicamente. Son, sin embargo, vertientes de solana (miran al sureste) y por ende algo más secas y extremosas, lo que limita en ellas la edafogénesis y dificulta la fitoestabilización. Como consecuencia de ello -y de la intensa meteorización de los piroclastos, que conservan mantos alteríticos muy ricos en arcilla- son frecuentes los deslizamientos de tierra, las solifluxiones locales y la arroyada. Los primeros arroyuelos efímeros y cambiantes ejercen un lavado muy superficial (de tipo rillwash), aunque evolucionan rápidamente a regueros capaces de excavar barrancos y cárcavas. Su aparición y crecimiento se da en los episodios de mayor actividad de la escorrentía, que se concentran en el tiempo lluvioso del verano y de principios del otoño.

Así pues, el abarrancamiento y la apertura de cárcavas tiene en la actualidad un papel fundamental en ambas laderas de los valles disimétricos de la rampa

Norte, por razones más relacionadas con la pendiente y el ataque antrópico a la vegetación, en una, y con las condiciones bioclimáticas y el estado de los materiales aflorantes, en otra. Puede decirse que estas formas de erosión aparecen dispersas por todo el ámbito de estos característicos valles, siendo difícil de reconocer sus pautas de localización. Lo único que se aprecia con cierta claridad es una mayor concentración de las mismas, acompañada de una mayor actividad y desarrollo espacial, en los tramos de valle situados en la parte más alta del piedemonte, donde la profusión de cárcavas llega a conformar pequeños *badlands*. En ellos, el fuerte desnivel topográfico entre los cauces y los restos de la vieja rampa y la gran potencia de los materiales volcanoclásticos meteorizados, junto con el alto volumen de las precipitaciones, actúan como factores determinantes que facilitan la concentración de la abundante escorrentía estacional y confieren gran competencia a la arroyada.

Como se verá más adelante, en esta situación morfodinámica la intensa deforestación que se ha practicado en esta unidad de rampa a lo largo de las últimas décadas ha tenido, y tiene, unas consecuencias nefastas, ya que supone la pérdida de la cubierta protectora de suelo y de los mantos de alteración, favorece el escurrimiento superficial en detrimento de la infiltración y propicia la concentración de las aguas corrientes.

5.4.3.2. El modelado en el piedemonte superior de la rampa Sur: los valles en “V” y las "lomas" interfluviales.

Esta unidad se ubica en el extremo meridional del área, al pie del macizo San Miguel, y se extiende entre las cotas 2400 y 2800 msnm, presentando un modelado externo que es, en varios aspectos, antagónico al del sector septentrional. Ello se debe a la menor edad y a la mayor complejidad de los materiales del piedemonte volcánico, así como al imperfecto desarrollo de la superficie modelada sobre ellos antes del establecimiento de la red hidrográfica actual.

Ciertamente, los análisis realizados indican que las formaciones vulcanoclásticas que se extienden al pie de los relieves montañosos meridionales de la sierra se encuentran entre las más recientes del área -de hace 170.000 años- y presentan

los mayores volúmenes y el máximo grado de variedad litológica. Como consecuencia de ello, y a diferencia de lo ocurrido en el extremo boreal de la rampa, durante el Pleistoceno superior el barrido de los materiales superficiales por la arroyada laminar debió ser imperfecto y poco eficaz, sobre todo en amplios sectores de litología bien cementada y cohesiva correspondientes a lahares y flujos piroclásticos. Además -como ya se ha indicado- la elevación del terreno tras los recientes episodios de actividad volcánica y la puesta en actividad de dislocaciones tectónicas que cortaron los depósitos desde su raíz (y compartimentaron la rampa) propiciaron una precoz concentración de las aguas en cursos adaptados a la red de fallas, que generaron valles encajados orientados al noreste. Los valles (o "barrancos") de los ríos Tacubaya, Becerra, Mixcoac, Del Muerto y San Angel, entre otros, iniciaron su formación en este tiempo (cuando en otros sectores del piedemonte la escorrentía todavía era predominantemente difusa).

Esta actividad incisiva de las corrientes de agua, tan prontamente iniciada, se mantuvo en el Pleistoceno reciente y continúa siendo fundamental en la evolución actual de la rampa volcánica sur, aunque a lo largo del tiempo pudo tener fases de mayor o menor dinamismo, como lo demuestra la existencia de acumulaciones aluviales colgadas sobre el lecho de numerosos barrancos (Santo Desierto, Mixcoac, etc.); aunque en otros, más activos, faltan estas posibles evidencias, siendo lógico pensar que han sido borradas por erosión. En todo caso, el encajamiento de la red ha hecho que la superficie de la rampa quede segmentada y los fragmentos de ella que no fueron destruidos por la apertura de los valles y barrancos se conserven como vestigios del antiguo modelado en glacia del Pleistoceno superior.

Como consecuencia de la rapidez y eficacia del encajamiento de la red fluvial no se modelaron aquí valles disimétricos como en la rampa Norte, sino valles profundos "barrancos", con ambas laderas empinadas en más de 20° y comúnmente de bordes escarpados. En ellas, sobre todo cuando las estructuras de dislocación que las controlan siguen activas, se mantiene una importante actividad morfogenética basada en procesos gravitatorios y de arroyada concentrada. (Fig. 5.4)

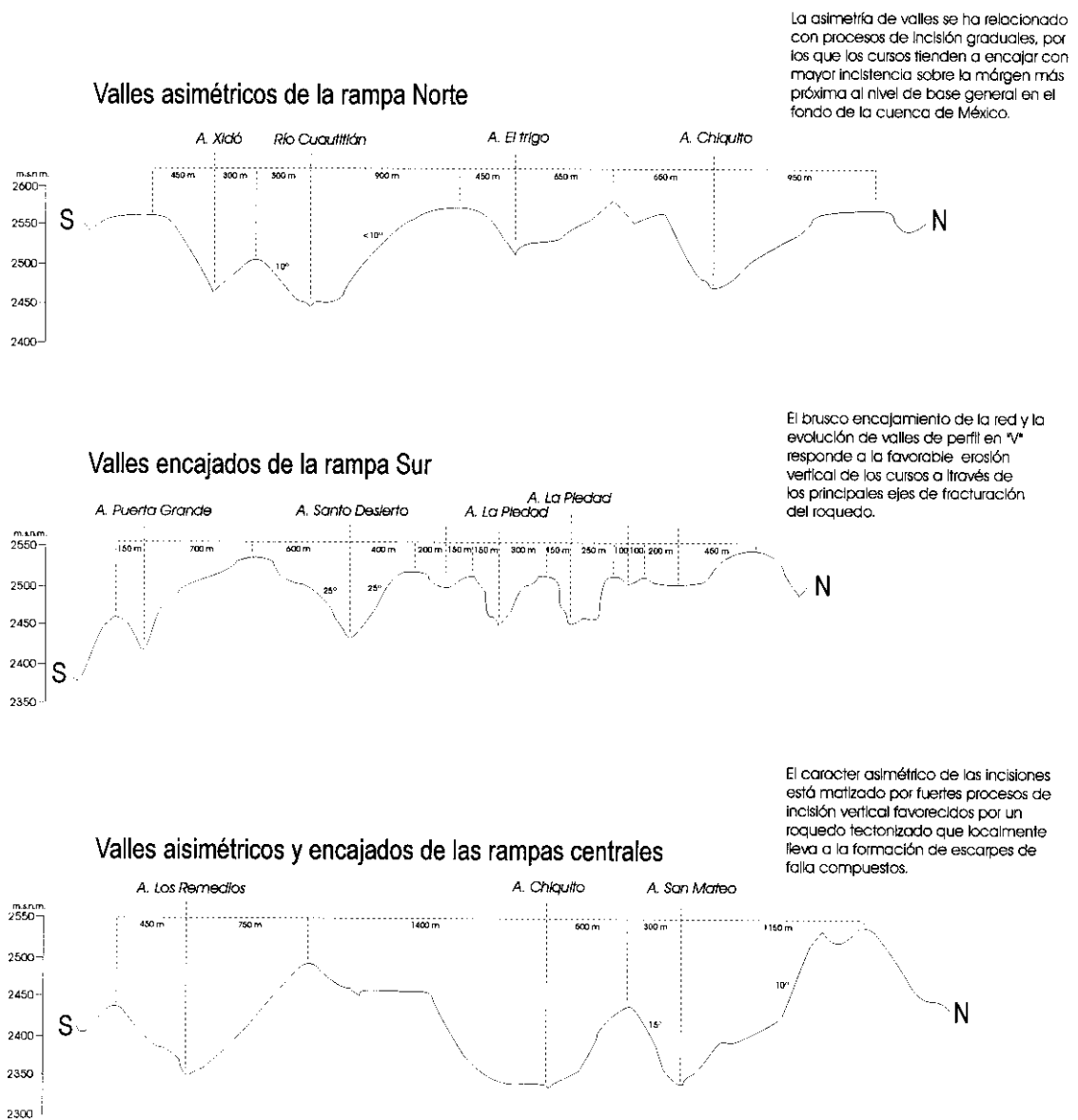


Figura 5.4 Cortes topográficos que representan la morfología transversal de los valles y barrancos en tres sectores de la rampa de piedemonte. Exageración vertical de cinco veces.

La mayor parte de los fenómenos gravitatorios, casi siempre desplazamientos en masa de tipo deslizamiento, ocurren sobre depósitos masivos de tobas líticas y de pómez de textura fina alteradas por meteorización (así como sobre depósitos de origen antrópico): la disposición estratigráfica, en capas con distinta permeabilidad, suele ser favorable a la imbibición del sustrato que se torna altamente vulnerable a la acción de la gravedad. Sin embargo, dada la complejidad litoestratigráfica del área, resulta imposible definir con certero detalle las áreas potencialmente más vulnerables a estos fenómenos de movimiento en masa.

En algunos casos, la pérdida del equilibrio en las laderas de los valles puede ocurrir en condiciones de sequedad y ser provocada por el sobrepeso ocasionado por los asentamientos de colonos o las vías de infraestructura en la parte alta de las lomas o facilitada por la creación antrópica de superficies de fuerte inclinación (como ocurre en cortes de carretera y en canteras). En estos casos, los paquetes de material volcanoclastico se agrietan y tienden al reacomodo por medio de desprendimientos y, sobre todo, de deslizamientos superficiales.

Pero lo más común es que el agua -ya sea de lluvia o procedente del afloramiento de caudales subsuperficiales- tenga una importante participación en estas acciones de modelado. Los deslizamientos son entonces más voluminosos y profundos y la pérdida del equilibrio en la vertiente sobreviene tras la saturación en profundidad de tobas arcillosas. El carácter masivo y suelto de algunos afloramientos favorece en algunos casos la actividad de las reptaciones, y en otros, particularmente ricos en arcilla, la de las solifluxiones y las coladas de fango.

Por otro lado, tanto las formaciones piroclásticas aflorantes en las laderas de los valles como los depósitos coluvionares que parcialmente las recubren son removidos con bastante eficacia por la arroyada en manto y arrastrados por los flujos torrenciales, muy activos durante las crecidas del verano en una red de cauces muy desarrollada (con más de 10 km/Km²). Dicha red de canales afluentes modela regueros y cárcavas cuyas cabeceras se asientan en el borde alargado de las lomas o crestas interfluviales, mientras que las cabeceras de los principales cursos alcanzan las vertientes montañosas.

Los retazos de la vieja superficie de la rampa que separan los valles principales en el piedemonte meridional son alargados y estrechos, midiendo unos 10 km de longitud por 1 km de anchura. Se caracterizan por una notable planitud y una pendiente general hacia el fondo de la cuenca, pero siempre muestran también un basculamiento apreciable hacia el SE (que ha de relacionarse con causas tectónicas). Aunque estos caracteres llevan a definirlos como mesas o plataformas, debido quizá a su posición culminante y a su configuración estrecha y alargada son conocidos con los nombres de crestas o, más frecuentemente, de “lomas”.

Se aprecia en la superficie de éstas una gran estabilidad morfodinámica, donde los procesos de modelado son muy poco activos, pero sus bordes escarpados son inestables y están integrados en el intenso modelado de los valles, por lo que tienen una marcada tendencia a retroceder y a reducir progresivamente la extensión ocupada por las lomas.

Este modelado marginal consiste en movimientos en masa y arroyada que, con gran frecuencia son facilitados por subsidencias del terreno, debidas al desplome del techo de antiguas minas de extracción de pómez. Dichas galerías fueron excavadas -como se verá- a diversos niveles en las laderas de los valles, siendo las más cercanas a la superficie culminante de las lomas las que representan mayor riesgo para los usos humanos.

5.4.3.3. El modelado en el piedemonte superior de las rampas centrales: los valles encajados disimétricos.

La característica que mejor define el relieve de esta parte central del piedemonte -extendida a los pies del macizo volcánico de Las Cruces a una altitud 100 m más baja que las antes descritas- es su carácter mixto y su complejidad, ya que en ella se combinan elementos morfológicos derivados de procesos que han sido considerados propios de uno u otro de los dos sectores que la enmarcan. Asimismo, como ocurre en la rampa Norte, en las centrales los valles muestran un perfil transversal con cierto componente asimétrico, en el que la margen derecha tiene mayor pendiente y es más activa que la izquierda. Sin embargo,

son profundos y relativamente estrechos, como los que diseccionan la rampa Sur.

Esta combinación de disimetría y encajamiento es resultado de una incisión fluvial condicionada, por un lado, por la posición del nivel de base de los cursos de agua y, por otro, por la dinámica tectónica que ha afectado a este sector del piedemonte. Los citados cursos fluyen al noreste con dirección al fondo subsidente de la cuenca de México, situada al sureste, por lo que -desde los inicios- tendieron a desplazarse progresivamente en esta dirección, lo cual se tradujo en la apertura de surcos disimétricos. Por otra parte, esta apertura fue particularmente rápida y profunda debido a la actividad tectónica que afectó al área, como consecuencia de lo cual el encajamiento fluvial fue muy marcado y confirió a las incisiones disimétricas una notable profundidad. De esta forma, el modelado de las rampas centrales se articula como una secuencia de valles asimétricos, pero notoriamente encajados, que delimitan superficies más o menos planas, estrechas y con bordes escarpados, que se ubican en posición culminante y que aún no están integradas del todo en la red de drenaje. (Fig. 5.4)

Con cierta frecuencia las vertientes más inclinadas de estos valles tienen el carácter de escarpes compuestos, es decir de escarpes tectónicos generados en el Pleistoceno y remodelados parcialmente por los procesos actuales. Lo más normal es que conserven una morfología típica de escarpe primitivo en la parte superior (marcando un brusco contacto con la superficie de las "lomas" culminantes) y presenten una configuración más marcada por los procesos externos de modelado en la parte inferior. El ejemplo más claro de esto son las laderas del valle del río San Mateo, que se adaptaron a las redes de fracturación del SW-NE: en ellas la parte más alta es una pared rocosa verticalizada (con todos los caracteres de un escarpe de falla primitivo) y afectada por caída de derrubios y desprendimientos, mientras que la base es un talud detrítico que sepulta el plano de la falla.

En los sectores de los escarpes donde afloran las tobas volcánicas rojas, muy erosivas, la arroyada concentrada actúa con gran eficacia, formando acarcavamientos y *badlands* (que abundan sobre todo en los tramos de valle situados en las partes más altas de la rampa). Igualmente, los taludes de acumulación detrítica son en todos los casos inestables y se encuentran

permanentemente afectados por la actividad de procesos de modelado, consistentes en asentamientos, reptaciones y deslizamiento de sus niveles superficiales; no obstante, también se ven afectados por la arroyada, de tal forma que suelen albergar densas redes de corrientes.

5.4.4. El modelado en el piedemonte inferior.

El piedemonte inferior es -como se dijo- la porción basal de la rampa de enlace, que se extiende por debajo de los 2400 msnm y se diferencia por su reducida pendiente (inferior a 2°). Constituida por material fundamentalmente detrítico, es más ancha en el tercio norte del área -al pie del macizo Catedral-, donde alcanza entre 8 y 15 km, y se va haciendo progresivamente más estrecha hacia el sur, hasta convertirse en una zona angosta de menos de un kilómetro de anchura al pie del macizo San Miguel.

Se formó durante el Pleistoceno superior y reciente por la coalescencia de conos de deyección en el borde externo de la sierra y, en menor proporción, por la acumulación de cenizas arrojadas por los volcanes o transportadas por el viento. A diferencia del piedemonte superior, en él las capas de la formación que constituye su sustrato son menos potentes y de textura más fina. Inicialmente su morfología fue la de una especie de glacis de acumulación, que prolongaba la rampa volcanoclástica hacia el E y la enlazaba con el fondo de la cuenca de México.

Durante la última etapa de su modelado, y coincidiendo con el periodo de mayor encajamiento de la red hidrográfica en las vertientes de la sierra, esta parte externa de la rampa resultó segmentada por las principales corrientes (ríos Cuautitlán, Tlalnepantla, Hondo, etc.), así como por sus numerosos cursos y barrancos afluentes. En la actualidad, los tramos de valle entonces abiertos muestran unos cauces bastante estabilizados (salvo en las partes altas que enlazan con el piedemonte superior), siendo la arroyada difusa el proceso más representativo de la dinámica geomorfológica de las laderas, aunque suelen presentarse deslizamientos superficiales y reptaciones en las áreas de enlace con las lomas interfluviales. Otros fenómenos de mayor control gravitacional

(desprendimientos, deslizamientos profundos) sólo se presentan en cortes antropógenos del terreno.

La presencia y las actividades del hombre han influido de modo sustancial en la reducción al mínimo de la incisión fluvial: numerosas corrientes han sido entubadas para el abasto de agua de la capital y extensas áreas correspondientes a lechos y márgenes están ocupadas por asentamientos humanos. Como consecuencia de ello puede decirse que el modelado fluvial se encuentra hoy básicamente trastocado en los fondos de estos valles, quedando la actividad excavadora limitada a escasas corrientes (la densidad de cauces es de 2 a 8 km/km²) bien canalizadas y semipermanentes de cuarto y quinto orden.

La construcción de presas en esta parte inferior del piedemonte también ha influido en la dinámica geomorfológica actual: en la temporada lluviosa del verano el área es afectada por las crecidas de los ríos, cuyas aguas son retenidas por las citadas presas; ello provoca siempre una decantación de la carga arrastrada (lo que disminuye con rapidez la capacidad del embalse) y excepcionalmente el desbordamiento de parte de los caudales (del que se deriva también la deposición de materiales finos en los fondos de valle sin afectar por lo general a las laderas).

En todo caso -aún sin el apoyo, evidente, de las acciones antrópicas- la acumulación de sedimentos fluviales es un proceso común e intenso en el piedemonte inferior debido a la disminución en los declives y a la mayor acumulación de sedimentos en la carga de las corrientes, siendo los fondos aluviales (o superficies de relleno aluvial) unos componentes muy característicos y frecuentes de su paisaje geomorfológico, que no se limitan -como ocurre en el piedemonte superior- a pequeños enclaves locales en la confluencia de corrientes o la salidas de cárcavas. En esta porción terminal del piedemonte el decremento de la pendiente favorece la descarga de los sedimentos transportados por los cursos de agua, incluso por los principales (de 4º o 5º orden, como el Hondo, el Cuautitlán, el Xinté, el Tlalnepantla, etc.), por lo que en el fondo de sus valles inferiores (en torno a los 2400 msnm) se forman superficies de relleno aluvial de relativa extensión y continuidad, que coinciden con el paso del sector volcánico al sector detrítico de la rampa.

5.4.5. El modelado en los relieves montañosos menores.

Como se señaló en el capítulo dedicado a la organización morfoestructural, bajo esta denominación se incluyen los resaltes topográficos de la sierra del Tigre y de los cerros Totoltepec, Moctezuma y El Judío, que se distribuyen a distintos niveles del piedemonte. Estos tres últimos son elevaciones poco prominentes que -pese a sus marcadas pendientes- generan desniveles locales de menos de 200 m sobre la superficie de la rampa. La sierra del Tigre, por su parte, es más extensa y se compone de varias elevaciones, que en conjunto dan la forma de un anfiteatro, cuyas laderas de barlovento tienen un desnivel de 300 m sobre el piedemonte inferior. Estos relieves se originaron cuando los materiales del piedemonte volcánico sepultaron antiguos complejos volcánicos en el Plio-Pleistoceno y corresponden a las partes elevadas de éstos que quedaron al descubierto o fueron parcialmente exhumadas por erosión durante el Pleistoceno superior.

Actualmente las laderas de estos cerros son empinadas (en torno a 15° de pendiente) y carecen prácticamente de protección vegetal o edáfica, encontrándose en algunos casos densamente ocupadas por construcciones. Las rocas que afloran en los frecuentes escarpes antropógenos que en ellas existen son lavas intermedias y ácidas muy fracturadas y alteradas desde el Pleistoceno. Sus tonalidades rojizas (debidas a la oxidación de los minerales ferromagnesianos), así como los encostramientos (por acumulación de carbonatos) que presentan, son testimonio de las alteraciones bajo ambientes climáticos cálido-húmedos y semiáridos del Pleistoceno.

Sobre estos materiales, muy deleznales, la arroyada modela rápidamente redes bien marcadas de barrancos, con los saltos de cabecera ubicados cerca de las angostas divisorias culminantes. A pesar de que la red de drenaje tiene una densidad moderada (entre 4 y 8 km/km²), la mayoría de estos barrancos están activos, por lo que generan importantes mantos de material detrítico al pie de las laderas. Del patrón subparalelo que la caracteriza se infiere una importante influencia de la fracturación del roquedo en el modelado.

Por otra parte, las acciones mecánicas de meteorización, de naturaleza fundamentalmente hidroclástica y facilitadas por el diaclasamiento y la alteración

de las rocas, producen un alto volumen de material suelto en las laderas empinadas, lo que favorece las acciones gravitatorias como los derrumbes y caída libre de derrubios.

5.5. El rol de las actividades antrópicas en el modelado del piedemonte.

El modelado del piedemonte se ha convertido en las últimas décadas en un fenómeno muy complejo, ya que depende, además de la influencia natural ejercida por el medio -donde se considera su variada composición litológica, la afectación de los materiales por fracturas y las condiciones climáticas presentes y del pasado-, de las acciones antrópicas, que han cobrado gran intensidad y significado y de las que han resultado formas de erosión y acumulación muy variadas.

Entre las acciones de origen antrópico que dinamizan el sistema de modelado destacan:

- La alteración de la topografía original de las laderas y la creación de taludes escarpados, de lo que derivan cambios de presión en el interior de los depósitos o de las formaciones volcánicas sueltas, favoreciendo la caída de rocas o de derrubios y/o los deslizamientos de tierra.

- El sobrepeso introducido por las urbanizaciones y las infraestructuras, generalmente concentradas en las divisorias o “lomas” del piedemonte, generan un aumento de presión en las formaciones y depósitos de los bordes de éstas, introduciendo en ellos y en la parte superior de las laderas de los valles una fuerte inestabilidad.

- La excavación de minas en la parte media de las laderas para la explotación de las capas de pómez fina -particularmente abundantes en el piedemonte del macizo San Miguel-, que se produjo en gran parte durante la época de la colonia española y que en años recientes ha dado lugar a numerosos hundimientos y a otros fenómenos gravitacionales de carácter catastrófico, que han tenido graves implicaciones socioeconómicas.

5.6. Conclusiones.

El relieve de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo está conformado por cuatro unidades geomorfológicas principales, en cada una de las cuales los rasgos morfológicos y el modelado son distintos y obedecen a parámetros morfoestructurales y bioclimáticos apreciablemente diferenciados: Los relieves montañosos, el piedemonte superior, el piedemonte inferior y los relieves montañosos menores.

Aunque no ocupan una extensión significativa, en toda la vertiente existen evidencias morfológicas del modelado que se desarrolló durante los períodos de clima frío del Pleistoceno, en los cuales es posible que hubiese cierta actividad glaciario o nival en algunos valles de montaña, atípicamente amplios y de perfil transversal en "U". Bajo estas condiciones del pasado los procesos de meteorización mecánicos y la caída libre debieron ser más intensos que en la actualidad, pero la intensa morfodinámica que hoy afecta a las vertientes ha desmantelado en su práctica totalidad las formas y formaciones derivadas de su actividad.

Bajo condiciones climáticas más cálidas y áridas que las presentes, e inmediatamente antes del establecimiento de éstas, la parte inferior de la vertiente fue arrasada o cepillada por la arroyada laminar combinada con procesos eólicos, que suavizaron la topografía transformándola en una extensa rampa de piedemonte, sobre la que inmediatamente comenzaron a encajarse los cursos de agua que iban a ser los ejes principales de la red actual (Hondo, Tlalnepantla y Cuautitlán). Este encajamiento y desarrollo de la red de drenaje ha sido el elemento básico del sistema de modelado al establecerse el clima aún vigente, pero en cada sector de la rampa se ha desarrollado de modo distinto y ha tenido consecuencias diferentes debido a la desigual tectodinámica que en cada una de ellas se ha registrado. Así, en el sector norte de la rampa se formaron bajo condiciones de relativa tranquilidad tectónica valles asimétricos amplios, mientras que al sur del río Hondo la actividad de los cursos de agua asistida eficazmente por la tectónica llevó a la apertura de valles más estrechos y encajados.

En todo caso y bajo la influencia decisiva de las fracturas correspondientes al patrón tectónico SW-NE, la red fluvial ha labrado un denso conjunto de valles paralelos (con la misma orientación de las citadas fracturas), como consecuencia de lo cual la rampa de enlace se encuentra intensamente segmentada por las corrientes, presentando así un paisaje morfológico dominado por la secuencia de valles y estrechas plataformas interfluviales.

En el presente, la actividad modeladora se concentra en el interior de los valles erosivos, fundamentalmente en sus laderas, donde se encuentran barrancos, cárcavas y *badlands* muy activos (sobre todo en los tramos situados en el piedemonte superior). Las aguas corrientes superficiales, en sus diversas modalidades de flujo temporal o permanente, son sin duda el agente fundamental del modelado en toda la vertiente, aunque el agua infiltrada en el subsuelo tiene un rol de gran importancia y comúnmente es catalizador de los procesos que afectan el interior de los valles y barrancos.

Junto con las acciones relacionadas con la escorrentía, existe una amplia variedad de procesos de fuerte control gravitatorio que afectan dichas laderas, siendo de gran significación los condicionamientos litológicos, la pendiente y altura de las laderas, el sobrepeso, etc.,. Los derrumbes y la caída de derrubios son comunes en las vertientes rocosas de la montaña, en tanto que en la rampa de enlace son más frecuentes las reptaciones, los deslizamientos, los flujos y los hundimientos.

De esta forma, desde el punto de vista geomorfológico, pueden distinguirse dentro del área estudiada dos ámbitos dinámicamente distintos y paisajísticamente diferenciados. Por un lado, están los interfluvios montañosos y las estrechas mesetas y lomas interfluviales del piedemonte que mantienen básicamente su relieve modelado en las fases climáticas (frías o cálido-áridas) del pasado que no han sido aún integrados a la red de valles. En estos ámbitos, de extensión minoritaria y decreciente, la morfodinámica no es intensa y corre a cargo de procesos escasamente competentes; como consecuencia de ello y de la topografía aplanada de muchos de ellos, la mayor parte de estas superficies están roturadas o urbanizadas, lo que confiere gran valor a las escasas superficies que aún mantienen un paisaje natural.

Por otro lado están los relieves deprimidos de carácter erosivo correspondientes al interior de los valles, barrancos, cárcavas y *badlands*, en los cuales el modelado es intenso y está dominado por la acción fluvial, la arroyada concentrada y los fenómenos de gravedad. Estas áreas, mayoritarias y de extensión creciente, se caracterizan por su frágil equilibrio o su franca inestabilidad y por su topografía agreste, que dificulta la ocupación y las acciones humanas directas. Por ello, pese a las dificultades derivadas de la activa morfodinámica, en ellas están mejor resguardadas las comunidades forestales más valiosas y sensibles, lo que las convierte en ámbitos de particular importancia ecológica y paisajística.

6. LA ORGANIZACIÓN ANTRÓPICA.

El complejo proceso de urbanización que afecta al borde occidental de la capital mexicana es, sin duda, el aspecto más influyente del antropismo y que supone un fuerte impacto en los paisajes naturales de toda la vertiente. Por ello el presente capítulo se inicia con la evaluación del poblamiento actual, haciendo hincapié en la distribución y caracterización de los principales emplazamientos habitacionales, para analizar posteriormente la evolución histórica de los mismos, identificando los principales factores que explican la dinámica expansiva de la población en este sector marginal de la gran aglomeración de Ciudad de México.

En otro apartado se analizan las actividades que realiza el hombre sobre las laderas y rampas orientales de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo incluyendo los usos y aprovechamientos agrícolas, ganaderos, forestales y mineros poniendo de relieve el grado de afectación que cada uno de ellos ha producido sobre el medio. Ello nos acerca al conocimiento de los cambios experimentados por los paisajes naturales en este territorio. Finalmente, y con base en los resultados de los análisis anteriores, la superficie de la vertiente es dividida en sectores definidos por sus sistemas de uso antrópico, es decir por el conjunto de modalidades de utilización más representativas y con mayor trascendencia en el paisaje, independientemente de que no se estuviesen practicando en el momento en que se efectuó el estudio.

En relación con el área, en este capítulo se utilizan términos político-administrativos y urbanísticos, cuyo significado debe quedar bien claro desde el comienzo para evitar una posible confusión si se entienden de forma errónea o incorrecta. Estos términos son los siguientes:

Distrito Federal.- Es una de las 32 entidades federativas en que se divide el territorio del país y en cuyo interior se asienta la Ciudad de México; desde el año de 1972 se subdivide para su administración en 16 delegaciones políticas. Una de éstas, la de Cuajimalpa, tiene todo su territorio inmerso en el área de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo y otras tres, las de Alvaro Obregón, Magdalena Contreras y Miguel Hidalgo, sólo parcialmente (fig. 6.1).

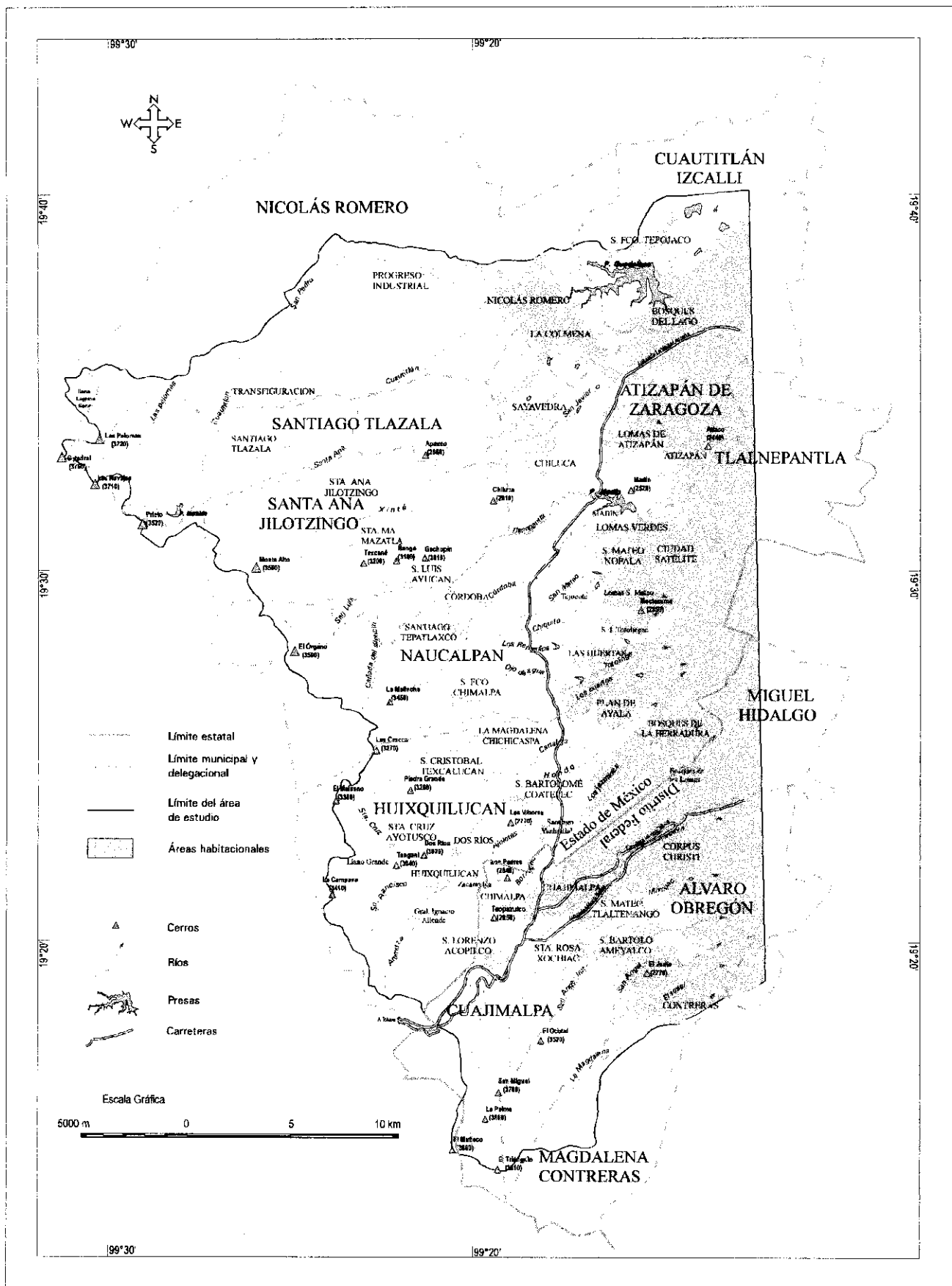


Figura. 6.1. Límites político-administrativos.

Estado de México.- Es otra entidad federativa que bordea al Distrito Federal. Nueve municipios pertenecientes a este Estado forman parte de nuestra área de estudio: Atizapán de Zaragoza, Huixquilucan, Santa Ana Jilotzingo, Naucalpan y Tlazala de Fabela, que tienen prácticamente todo su territorio dentro de dicha área, y Cuautitlán Izcalli, Tlalnepantla y Villa Nicolás Romero, que sólo tienen en ella una parte de su circunscripción (fig. 6.1).

Ciudad de México.- Es la porción del área urbana de la capital de la República que está dentro del Distrito Federal. En 1990 registró una población de 8.235.744 habitantes, de los cuales 1.364.331 habitan en las cuatro delegaciones políticas que se localizan total o parcialmente en el área que nos interesa (INEGI, 1992).

Área Urbana de la Ciudad de México.- Es la ciudad propiamente dicha, físicamente bien delimitada y en la que los usos del suelo son exclusivamente urbanos. Sobrepasa los límites del Distrito Federal, por lo que se extiende también en territorio del Estado de México. En 1990 su población se estimó en 18 millones de habitantes y su superficie en 1160,9 km², de los cuales un 15% entran en el área objeto de nuestro estudio.

Área Metropolitana de la Ciudad de México.- Incluye el territorio de todas las unidades político administrativas (delegaciones y municipios) que han sido invadidas en diverso grado por el área urbana de la Ciudad de México. Exceptuando los municipios de Jilotzingo y Tlazala de Fabela, las demás entidades situadas en la sierra que se han citado forman parte de esta área metropolitana.

Colonia.- Es una circunscripción de carácter administrativo dimensionalmente inferior a la delegación y al municipio y que viene a ser el equivalente al "distrito" o al "barrio" de otros países.

6.1. Las fuentes de información sobre población, poblamiento y usos.

La información estadística básica para la elaboración de este capítulo se obtuvo del XI Censo General de Población y Vivienda, de 1990, y del VII Censo

Agrícola-Ganadero, de 1991. Los datos vienen dados en ambos por municipios del Estado de México y por delegaciones del Distrito Federal. Como los límites político-administrativos del conjunto de estas entidades no coinciden con los límites del área de estudio, debe tenerse presente que no todas las cifras que se presentan son precisas, pero su significado se irá aclarando y ajustando en el momento oportuno.

El mayor problema se presentó en los casos de los municipios de Villa Nicolás Romero y Cuautitlán Izcalli, ya que un 50% de sus territorios están fuera de nuestra área de estudio. Sin embargo, dada la importancia de la información referente a ellos se optó por incluirlos en el análisis; en cambio el municipio de Tlalnepantla no fue tomado en consideración debido a la reducida porción de su territorio incluida en la superficie estudiada.

Hay que señalar finalmente que la población de las diversas entidades o núcleos fue calculada a partir de estadísticas demográficas elaboradas teniendo como unidad el "Área Geoestadística Básica" (AGEB), ésto es, a partir de un sistema cartográfico-estadístico en el que los datos delegacionales y municipales aparecen desglosados en superficies menores de dimensiones variables -las AGEB'S-, en cada una de las cuales se agrupan 2.500 habitantes.

6.2. La distribución actual de la población.

A principios de la década en curso la población del área de estudio era de poco más de tres millones de personas, por lo que considerando un ritmo de crecimiento anual de 2.5 -que es la media para el Distrito Federal- podemos estimar a *grosso modo* que la población actual puede superar 3.5 millones de habitantes. La mayor parte de éstos se ubican en tres tipos de asentamientos diferenciados por su extensión y su densidad de población: el área urbanizada, los núcleos menores (pueblos y fraccionamientos residenciales) y las áreas de poblamiento disperso.

6.2.1. El área urbanizada.

Comprende la porción de la vertiente que ha sido invadida por la mancha urbana de la Ciudad de México. Es un área extensa (18.364 ha.) equivalente a una quinta parte de la superficie total del territorio estudiado, de borde irregular, aunque continua y de límites bien definidos (fig. 6.2). Se extiende desde la base de la sierra hasta una altura media próxima a los 2400 msnm, ocupando en consecuencia casi todo el piedemonte inferior. Sin embargo, en la parte que corresponde administrativamente a la Ciudad de México -en la delegación Cuajimalpa- la mancha urbana se adentra más en la vertiente y alcanza la cota de los 2800 msnm, tocando la base de las laderas montañosas propiamente dichas. Según el censo de 1990, la población de esta superficie urbanizada fue estimada en 2.846.420 personas, es decir el 95% del total de habitantes. Su densidad es francamente alta -155 hab/ha- y los usos urbanos de tipo fundamentalmente habitacional.

6.2.2. Los núcleos menores: pueblos y fraccionamientos residenciales.

En la vertiente oriental de la sierra existen 25 núcleos de población que están físicamente separados del área urbana de la Ciudad de México. Por lo general ninguno de estos núcleos supera las 100 ha y la población varía comúnmente entre 2000 y 8000 personas. La densidad demográfica se reduce dentro de ellos respecto de la que se tiene en el área urbanizada, siendo de 60.8 hab/ha. De acuerdo con su origen y con la clase de habitación que predomina se distinguen dos tipos: los pueblos rurales -o cabeceras de los pueblos- y los fraccionamientos residenciales (cuadro 6.1).

Los pueblos rurales se establecieron con anterioridad a la etapa de gran expansión urbana hacia la sierra, por lo cual el crecimiento natural de la población fue un proceso predominante hasta hace pocas décadas; permitiendo que hoy, un alto porcentaje de su población sea nativa, descendiente de campesinos y que mantiene -pese a la influencia capitalina- diversos grados de arraigo a las costumbres rurales. Se localizan principalmente en la porción alta de la rampa de enlace (entre 2500 y 2800 msnm), gracias a lo cual no han sido hasta el momento absorbidos por la mancha urbana -como ya sucedió con otros

Nombre	Población	Superficie en hectáreas
Pueblos		
Córdoba	300*	8
Dos Ríos	3306	16
Huixquilucan	6150	72
Santiago Tlazala	801	19
La Magdalena Chichicapa	6772	44
Progreso Industrial	6541	51
San Bartolomé Coatepec	3310	44
San Cristobal Texcalucan	2250*	24
San Francisco Chimalpa	4430	49
San Francisco Tepojac	8366	202
San Lorenzo Acopilco	6621	76
San Luis Ayucan	3065	35
San Mateo Tlaltenango	5307	79
San Pablo Chimalpa	5744	27
Santa Ana Jilotzingo	380	5
Santa Cruz Ayotusco	**	5
Santa María Mazatla	2250*	8
Santa Rosa Xochiac	7274	126
Santiago Tepatlaxco	2250*	85
Santiago Yanhuitalpan	3642	24
Transfiguración	800*	11
Zacamulpa	3693	19
Fraccionamientos		
Chiluca	2018	122
Sayavedra	2033	300
Total	87303	1451

(*) Población aproximada

(**) Sin información

Cuadro 6.1. Población y superficie de los pueblos y fraccionamientos residenciales.

pueblos como Cuajimalpa-. A pesar de que la mayoría se asientan sobre terrenos llanos de las lomas interfluviales, algunos pueblos del agreste sector de Las Cruces (Ayucan, Chichicarpa, Tepatlaxco y Texcalucan) se asientan sobre las laderas empinadas de los valles y, en el caso de San Pablo Chimalpa, en las laderas remodeladas por la erosión de un cono volcánico (fig. 6.2).

Los fraccionamientos residenciales, por su parte, se distribuyen en las cercanías del área urbana o incluso están siendo absorbidos por la misma. Como el fraccionamiento es un proceso muy difuminado, la gran mayoría de las unidades son muy pequeñas y no pudieron ser cartografiadas. En la figura 6.2 se muestran los dos grandes fraccionamientos que están separados del área urbana: Chiluca y Sayavedra, que en conjunto tienen una extensión cercana a las 500 hectáreas. A diferencia de los pueblos, estos núcleos se crearon como parte de la expansión urbana en la sierra, por lo que su población se constituyó por la inmigración de capitalinos de clase acomodada. Son urbanizaciones con baja densidad de habitación -entre 10 y 20 hab/ha-, enclavados en áreas escénicamente atractivas y alejadas de los radios de mayor impacto antrópico.

6.2.3. Las áreas de poblamiento disperso o muy disperso.

Una parte importante de la población se encuentra en emplazamientos dispersos en el interior de una extensa franja discontinua que bordea al área urbana de la Ciudad de México o bien en cinturones que rodean a los pueblos (con los que están dinámicamente relacionados), están afectados por un marcado proceso de expansión. Se trata de áreas sometidas a gran presión demográfica, receptoras -en muchos casos- de los últimos contingentes de inmigrantes, que hoy ocupan una superficie de 14,095 ha, equivalente al 15% del territorio estudiado y a una quinta parte de los espacios aún no urbanizados de la vertiente.

La principal característica de estas franjas es su baja densidad de habitantes, diferenciándose en este sentido dos tipos. Por una parte están las áreas de “poblamiento disperso” propiamente dicho, que tienen densidades de población más altas -con una media de 17.8 hab/ha- y mayor tendencia a la densificación; son representativas de los márgenes urbanos más cercanos a la capital (Distrito Federal y municipios de Huixquilucan y Naucalpan). Y por otra, están las áreas

de “poblamiento muy disperso”, con una densidad media de 4.0 hab/ha. Pese a situarse mayoritariamente en la parte media de la rampa de enlace, existen enclaves salpicados por toda la vertiente, hasta alturas cercanas a los 3000 msnm. Debido al carácter ilegal de muchos de estos emplazamientos habitacionales, se localizan en sitios resguardados y de difícil acceso, como en el interior de los valles y de las barrancas en la rampa de enlace.

6.3. La evolución reciente del poblamiento.

A partir de la década de los años cuarenta el área urbana de la Ciudad de México inició el periodo de mayor expansión de su historia, incrementó su población de 1.5 millones de habitantes -que tenía en 1940- a más de 18 millones en 1995. Las causas que llevaron a este crecimiento desmedido son variadas, aunque las diversas fuentes consultadas coinciden en atribuir la máxima importancia a la intensificación del proceso de centralización, por el cual millones de emigrantes de provincia se han incorporado a la masa poblacional de la capital, atraídos por el desarrollo del sector industrial al norte de la ciudad. Las necesidades de estos nuevos habitantes propiciaron el desarrollo creciente de la actividad comercial y de servicios, que incentivaron aún más la llegada de nuevos contingentes de población procedentes sobre todo de los Estados vecinos al Distrito Federal.

Una década después de iniciado el proceso de intenso crecimiento urbano, la Ciudad de México comenzó a manifestar escasez de espacio y de ofertas de empleo para los inmigrantes, afectados además por el ya tradicional deterioro en la calidad de vida de los capitalinos. Debido a ello, entre las décadas de 1940 y 1960 se originó un fenómeno opuesto a la centralización, por el cual la capital comenzó a exportar gente hacia los suburbios, propiciando procesos paralelos de expansión territorial y metropolización que tienen una importancia decisiva, ya que constituyen el principal conductor del poblamiento reciente en el área.

No fue sino hasta mediados de este siglo cuando el límite poniente de la capital mexicana alcanzó los bordes meridionales de la sierra -en las delegaciones Miguel Hidalgo y Alvaro Obregón- que sólo contaba en esos momentos con unos 70.000 habitantes, concentrados en su mayor parte en los antiguos pueblos.

Como se ha dicho, a partir de la cuarta década del siglo, y debido fundamentalmente al citado proceso de descentralización del área urbana de la Ciudad de México, la reducida población de nuestra área de estudio ha registrado muy fuertes y constantes incrementos, como consecuencia de los cuales hoy viven en ella más de 2.800.000 habitantes.

De acuerdo con las variaciones en la dinámica del proceso expansivo de la urbe y atendiendo a las particularidades del poblamiento en la vertiente, se han distinguido las siguientes fases en la ocupación urbana de la vertiente. (fig. 6.2)

6.3.1. La expansión urbana de 1940 a 1960.

La expansión del área urbana durante esta primera fase se encuentra condicionada por el relieve interno de la cuenca de México, de tal forma que la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo aún representaba un límite topográfico difícil de salvar por la mancha edificada. Esta no avanzó más allá de la cota de 2300 msnm, ocupando sólo sectores del piedemonte inferior.

Para entonces el norte de la capital se había consolidado como un centro industrial de gran atracción y se iniciaba ya el citado proceso de desconcentración poblacional. La mancha urbana se extendió en este tiempo hacia el municipio de Naucalpan y la delegación Alvaro Obregón -que cuadruplicó su población en tan solo diez años con tasas de crecimiento superiores a 10,0 (cuadro 6.2)-. Pero hay que señalar que, a pesar de que grandes contingentes de inmigrantes se sumaron al poblamiento, los nuevos asentamientos apenas alcanzaron los bordes inferiores de la sierra.

6.3.2. La expansión urbana de 1960 a 1980.

Entre los aspectos que mejor definen esta fase destaca el avance del área urbana fuera de los límites del Distrito Federal y su penetración en el territorio del Estado de México, con lo que se multiplicaron los problemas administrativos, quedando muy limitada la capacidad de gestión y planeamiento de las superficies urbanizadas. Pero, además del límite político, la mancha urbana traspasó con

Entidad	Superficie (has.)	(a) Población en miles							Tasa de crecimiento					
		1930	1940	1950	1960	1970	1980	1995	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Cuajimalpa	7.776,7	5	6	10	20	39	95	144	1,8	5,2	7,1	6,9	9,3	2,8
Alvaro Obregón	8.586,9	23	32	133	291	525	664	675	3,3	15,3	8,1	6,0	2,3	0,1
Magdalena Contreras	7.042,5	10	13	23	43	104	179	217	2,7	5,8	6,4	9,2	5,6	1,3
Miguel Hidalgo	4.746,6	-	-	436	612	605	543	406**	-	-	3,4	-0,1	-1,0	-2,8
Cuautitlán Izcalli	10.200,0	*	-	-	-	-	179	410	-	-	-	-	-	5,7
Huixquilucan	10.993,0	11	12	13	16	36	103	146	0,8	0,8	2,1	8,4	11,0	2,3
Naucalpan	20.613,0	10	14	30	91	428	759	2872	3,4	7,9	11,7	16,7	5,9	9,2
Atizapán de Zaragoza	7.495,0	3	4	5	8	50	210	396	2,9	2,2	4,8	20,1	15,4	4,3
Villa Nicolás Romero	25.967,0	*	-	-	-	47	117	231	-	-	-	-	9,5	4,6
Total		62	81	650	1081	1834	2849							

* Aún no está integrado al Área Urbana de la Ciudad de México.

(a) Fuentes de datos de población: Graizbord y Zalazar (1987), INEGI (1992), Unikel, 1971.

** Dato para el año de 1990.

Cuadro 6.2. Población y tasas de crecimiento de los municipios y delegaciones conurbados al Área Metropolitana de la Ciudad de México.

claridad el umbral físico que le suponía el arranque de la sierra, de tal forma que los nuevos asentamientos humanos se establecieron -casi sin ningún tipo de control- en el interior de valles y barrancos de la rampa de enlace.

En el cuadro 6.2 se observa cómo la población en casi todas las entidades aumentó considerablemente con respecto a la población que se tenía al final del periodo anterior; como consecuencia de lo cual el incremento neto de la población en la vertiente durante esta fase fue superior a 1.700.000 habitantes. Así, muy pronto las céntricas circunscripciones de Cuajimalpa y Naucalpan quedaron incorporadas al área metropolitana de la Ciudad de México.

Sin embargo, en el mismo cuadro se observa que las tres delegaciones y el citado municipio de Naucalpan fueron disminuyendo su ritmo de crecimiento, trasladándose el máximo incremento poblacional a otras entidades más alejadas de la capital, sobre todo Huixquilucan y Atizapán de Zaragoza, las cuales se incorporaron también al área metropolitana. Este fenómeno fue descrito por Unikel (1972) como similar a una onda de oleaje marino por el que los índices de mayor crecimiento demográfico tienden a desplazarse paulatinamente a sitios más alejados del centro urbano, conforme la ciudad crece.

Según Unikel (1972), la inmigración de capitalinos en la sierra se ha producido por medio de dos procesos. Uno es propio de la población con escasos recursos económicos, que se ve obligada a emigrar de la ciudad en busca de rentas más adecuadas a sus posibilidades; esta población se asienta en los suburbios o en las orillas de los pueblos ya existentes o bien crea nuevos asentamientos dispersos, siempre junto a las principales vías que acceden a la Ciudad de México. El otro proceso de inmigración afecta a la población pudiente, que sale de la capital en busca de una mejor calidad de vida en fraccionamientos de lujo y clubes de golf construidos ex profeso, generalmente en los suburbios (como es el caso de los fraccionamientos Lomas Verdes Madín, Chiluca y Sayavedra).

Desde la década de los setentas el gobierno del Distrito Federal puso en marcha un programa ambicioso tendente a controlar el crecimiento urbano de la ciudad, con lo que se planteó dar protección a los espacios forestales de la sierra. Sin embargo, la falta de coordinación con el gobierno del Estado de México la sobreposición de planes, programas y gobiernos, la corrupción y el desinterés

mostrado por parte del aparato gubernamental permitieron el fraccionamiento legal y toleraron el ilegal de terrenos en toda la vertiente, incluyendo el interior de los bosques.

6.3.3. La expansión urbana de 1980 a 1995.

Al comienzo de este período la capital mexicana adolecía de una serie de males socioeconómicos, administrativos y, desde luego, ambientales como consecuencia de los cuales parte de la población tendió a emigrar hacia ámbitos más habitables, siendo la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo un lugar idóneo dada su relativa cercanía con el centro de la ciudad. Así, la onda de expansión urbana alcanzó en este tiempo el municipio de Nicolás Romero, situado en el sector septentrional del área de estudio, mientras que en el resto de las entidades (excepto en Naucalpan) el crecimiento poblacional disminuyó su ritmo, colocando las tasas en valores inferiores a 5.0. Y además cabe destacar que las acciones gubernamentales tendentes a la conservación ecológica en el Distrito Federal (desalojos y reubicaciones de asentamientos irregulares, programas de planificación familiar, etc.) se intensificaron limitando el crecimiento poblacional en el sur de la sierra.

De la misma forma que en la etapa anterior el móvil de la inmigración de capitalinos es, en el caso del estrato social alto, mejorar las condiciones de vida cerca de los entornos naturales mejor conservados y adquirir una buena imagen social al habitar en los nuevos fraccionamientos de calidad reconocida. En el caso de la población de bajos recursos el móvil sigue siendo la falta de recursos económicos para mantenerse dentro de la ciudad.

6.3.4. La influencia de los polos de atracción financiera, comercial y de servicios en la evolución reciente del poblamiento.

En términos generales se puede considerar que todas las cabeceras municipales y delegacionales han tenido tradicionalmente una función importante como polos de atracción, en torno a los cuales el crecimiento poblacional ha sido más intenso. Destacan en este sentido las cabeceras de la delegación Cuajimalpa y de

los municipios de Atizapán de Zaragoza y Naucalpan, núcleos preexistentes al crecimiento poblacional de las últimas décadas y en torno a los cuales el área urbana muestra en la actualidad notorias prolongaciones (fig. 6.2).

Otros centros de atracción han sido creados recientemente en relación con la última etapa de expansión urbana. Responden a una estrategia económica de gran envergadura, que consiste en la construcción de centros comerciales y de servicios enfocados a cubrir las necesidades de todo el sector occidental de la capital; son áreas bien equipadas y dotadas de infraestructuras que han propiciado el poblamiento de sus entornos. En el área urbana de la sierra existen cuatro de estos centros: Satélite, Naucalpan, Interlomas y Santa Fe (fig. 6.2).

En torno a ellos el poblamiento se efectúa, a corto y mediano plazo, mediante el fraccionamiento de terrenos para clientes de amplios recursos económicos, pues se trata de áreas de elevado *status* social. El caso más representativo es el emplazamiento de Ciudad Satélite y de su centro comercial -en los suburbios urbanos durante la etapa 1960 a 1980-, que favoreció la aparición posterior de fraccionamientos residenciales en el área del municipio de Naucalpan (que al final del proceso quedó inmerso en el área urbana). Otros centros más recientes, como Interlomas y Santa Fe, se ubican también en los suburbios por lo que es de esperar que ocurra un proceso de crecimiento e integración similar al producido tras la instalación de Ciudad Satélite.

6.3.5. La influencia de las vías de comunicación y de las infraestructuras en la evolución reciente del poblamiento.

En el mapa de crecimiento urbano (fig.6.2) se muestra la evidente relación espacial que existe entre las vías de comunicación y las áreas de mayor crecimiento urbano. Efectivamente, las carreteras que unen los pueblos con la ciudad han sido un factor de gran importancia en el poblamiento de la vertiente, en cuanto que facilitan el traslado a los centros de trabajo. En la figura 6.2 se observa que algunos pueblos -Acopilco, Chimalpa, Zacamulpa, Texcalucan, Chichicaspa y Ayucan- han evolucionado conforme a una típica pauta lineal debida a esta influencia.

La única gran vía de comunicación que existía antes de los sesentas era la autovía México-Toluca carretera que une la capital del país con la del Estado de México, atravesando perpendicularmente el eje de la sierra. Los núcleos de Acopilco, Chimalpa, Xochiac y Tlaltenango, pese a que aun no se han incorporado físicamente a la mancha, mantienen muy estrechos lazos funcionales con ella gracias a esta vialidad. Por la misma necesidad de enlazar a la capital del país con Toluca, se llevó a cabo la construcción de la única vía férrea que atraviesa la sierra de oriente a poniente por el valle del río Hondo, la cual sin embargo ha tenido un escaso papel como conductor de la expansión urbana en la vertiente.

Es durante el período comprendido entre 1960 y 1980, pero sobre todo en la década de los setentas, cuando se construye la mayor parte de los accesos que enlazan hoy los asentamientos humanos de nuestro territorio con la Ciudad de México. Entre las grandes vialidades que favorecieron el avance del área urbana sobre las vertientes de la sierra destaca la avenida Periférico que corre paralela al pie de la sierra y que acercó la ciudad a los habitantes del Estado de México, teniendo gran impacto en el crecimiento poblacional de las delegaciones Alvaro Obregón y Magdalena Contreras (fig. 6.2).

Finalmente, a partir de los últimos años ochentas la vertiente ha sido afectada por el trazado de dos nuevas vías de comunicación importantes: la nueva autopista que une la Ciudad de México con Toluca y el sector occidental de la autopista que será el Tercer Anillo Metropolitano. Este último forma parte de un proyecto inconcluso del que falta por construir, en cuanto a nuestra área de interés se refiere, el segmento que corre al sur de Cuajimalpa (fig. 6.2). La construcción de estas últimas vialidades ha producido ya importantes impactos paisajísticos y desajustes ecológicos en las vertientes de la sierra y aún quedan por verse los efectos a mediano y largo plazo que, de ser similares a los causados por la primer autovía, habrán de ser considerados muy graves.

6.4. Los usos del suelo.

6.4.1. Los usos urbanos e industriales.

En el interior del área urbana integrada a la Ciudad de México el uso del suelo predominante es, desde luego, el habitacional, seguido por el comercial y el de servicios. Existe, sin embargo, una amplia variedad de ambientes debido a una distribución matizada de los grupos sociales, predominando las colonias populares de un *status* social medio o bajo entre las que se intercalan, en menor proporción otras de lujo. Durante las últimas dos décadas los suburbios de las tres delegaciones del Distrito Federal han sido objeto de grandes cambios de uso del suelo, tendentes a convertirlos en uno de los mayores polos de atracción comercial y financiera de la capital; la construcción de edificaciones de alta calidad destinadas al uso habitacional y de oficinas es un proceso vigente en la actualidad. Por otra parte, las entidades administrativas centrales (Naucalpan y Tlalnepantla) fueron muy industrializadas desde la primera etapa de crecimiento urbano (del 1940 a 1960) y en la actualidad forman parte de uno de los polos de desarrollo industrial más importantes de la capital. En los municipios norteros de Cuautitlán Izcalli y Nicolás Romero el auge industrial es más reciente (cuadro 6.3).

Entidad	1960	1970	1980
Distrito Federal			
Alvaro Obregón	530	829	1131
Cuajimalpa	98	72	170
Magdalena Contreras	71	91	212
Estado de México			
Atizapán de Zaragoza	24	79	381
Cuautitlán Izcalli	-	-	182
Naucalpan	362	1158	2323
Nicolás Romero	-	-	80
Tlalnepantla	338	834	1983

Fuente: Garza, Gustavo. En Atlas de la Ciudad de México, (1987).

Cuadro 6.3. Número de establecimientos destinados a la industria de transformación.

6.4.2. Los usos agrícolas.

La actividad agrícola, por la superficie que ocupa, es la segunda en importancia después de los usos urbanos. Prácticamente todos los municipios y delegaciones del área (a excepción de Miguel Hidalgo y Tlalnepantla que son entidades plenamente urbanas) tienen una parte de su territorio dedicado a la producción agrícola, tanto de cultivos anuales como perennes.

En cuanto a los cultivos anuales, sólo tres de ellos (maíz, avena forrajera y frijol) concentran el 98% de la producción, siendo el maíz el cultivo más representativo con el 73% del total. Por lo que se refiere a los cultivos perennes, la alfalfa es el más importante seguido de los frutales, entre los cuales el durazno es el más extendido; también las plantaciones de nopal (*Opuntia spp.*) y de maguey (*Agave ferox*) tienen amplia distribución, aunque bajas producciones en todos los casos (cuadro 6.4).

Las áreas dedicadas al cultivo se concentran, como era de esperar, en las laderas bajas pedemontanas de topografía semillana, mientras que, hacia porciones más altas los relieves más aprovechados para esta actividad son las lomas que separan los barrancos, las laderas tendidas de los valles asimétricos y las superficies de relleno aluvial próximas a los cursos fluviales. De esta forma, como se observa en la figura 6.4, prácticamente todo el sector bajo de la vertiente (Nicolás Romero, Huixquilucan, Cuautitlán Izcalli y Naucalpan) concentra la producción de los principales productos: maíz, avena forrajera, frijol y alfalfa. Esta localización de las principales superficies agrícolas es además estratégica para el comercio, ya que ocupan los tramos bajos de las cuencas de los ríos Cuautitlán, Tlalnepantla, Hondo, Los Remedios, etc., amplias y bien comunicadas con los mercados del centro capitalino.

Por otra parte y debido a que amplios sectores agrícolas que corresponden con las partes altas de la rampa dependen del aporte natural de agua, la agricultura anual muestra dos estaciones de cultivo al año: la húmeda y más productiva, que va de mayo a octubre, y la seca, que abarca de noviembre a abril. En esta última la producción es más baja debido ante todo a la disminución de la superficie sembrada en las vertientes medias. Sin embargo, en algunos sectores de la base de la sierra (Cuautitlán Izcalli, Atizapán de Zaragoza y Naucalpan) se dispone

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	tot.
Cultivos anuales											
Avena	26,6	100,9	186,8	40,2	217,8	281,8	340,7	68,0	1437,5	1273,3	3.973,6
Calabaza	8,4	11,0	28,1	-	-	-	-	-	-	-	47,5
Cebada	-	-	-	0,0	1,1	1,6	2,9	5,4	29,7	18,5	59,2
Frijol	6,6	5,4	30,6	4,3	312,9	5,5	15,1	169,0	101,6	183,2	834,2
Haba	20,1	24,8	17,9	-	-	-	-	-	-	-	62,8
Maíz	232,9	259,4	564,9	32,7	2248,9	467,1	706,7	1341,3	3388,2	2019,0	11.261,1
Trigo	-	-	-	0,0	0,0	0,5	1,0	3,0	24,7	-	29,2
Cultivos perennes											
Aguacate	-	-	-	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,4
Alfalfa	2,2	23,7	0,8	0,2	120,0	38,6	288,2	745,7	20,0	9717,9	10.957,3
Durazno	1,6	0,8	3,7	0,1	8,6	1,2	3,7	15,9	33,3	6,8	75,7
Maguey	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	4,2	0,1	18,6	31,7	39,3	113,9
Nopal	1,0	11,4	10,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0	23,2
Pera	10,6	19,1	2,2	-	-	-	-	-	-	-	31,9

Fuente: INEGI (1994). Resultados definitivos del VII Censo Agrícola-ganadero.

Distrito Federal:	Estado de México:	7. Jilotzingo
1. Alvaro Obregón	4. Atizapán de Zaragoza	8. Naucalpan
2. Cuajimalpa	5. Huixquilucan	9. Nicolás Romero
3. Magdalena Contreras	6. Isidro Fabela	10. Cuautitlán Izcalli

(-) Se carece de dato

Cuadro 6.4. Producción anual de los principales cultivos anuales y perennes (en toneladas y según la entidad y el tipo de cultivo).

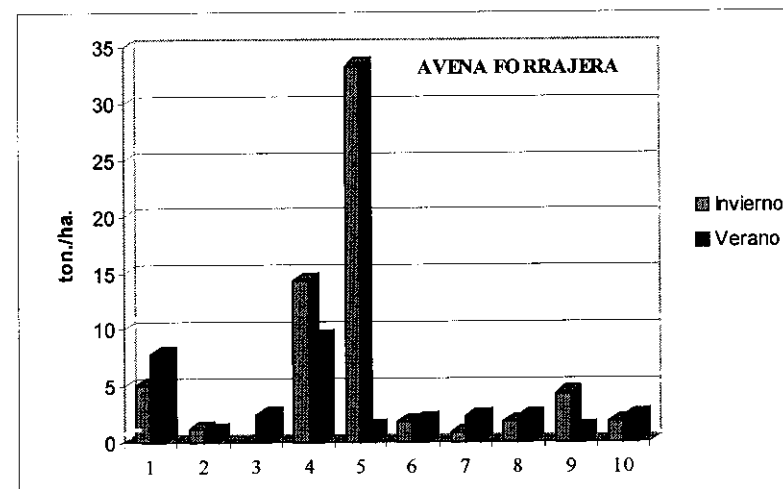
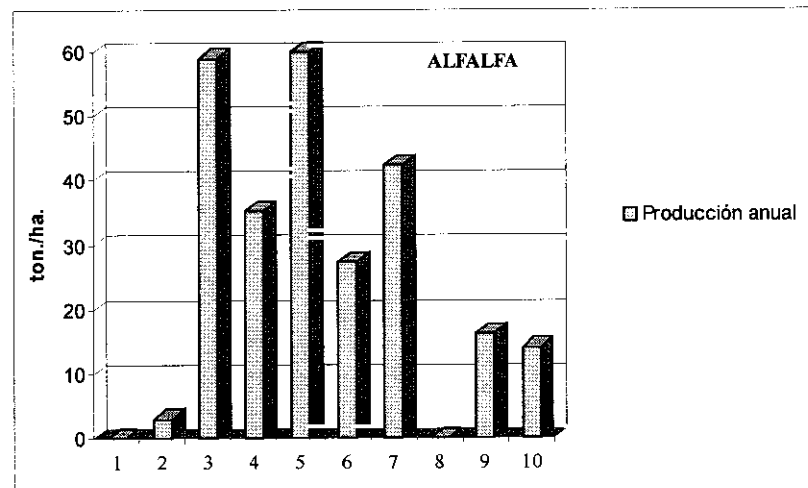
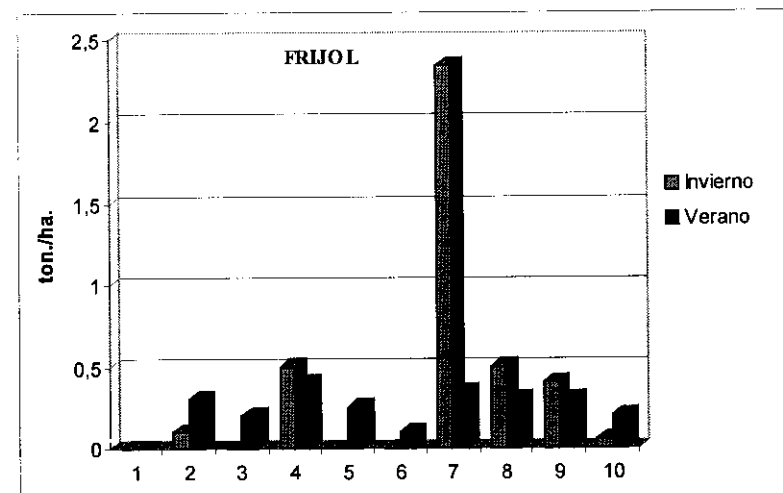
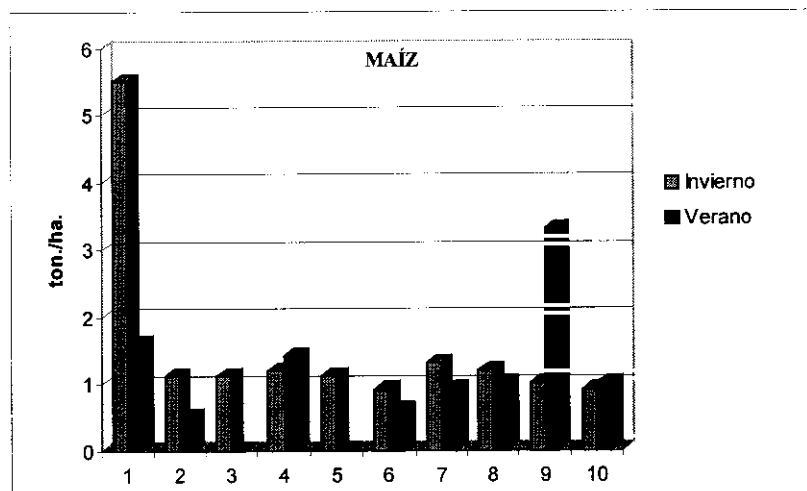


Figura 6.4. Volumen de la producción de maíz, frijol, alfalfa y avena forrajera. (1) Atizapán de Zaragoza, (2) Alvaro Obregón, (3) Cuajimalpa, (4) Cuautitlán Izcalli, (5) Huixquilucan, (6) Isidro Fabela, (7) Jilotzingo, (8) Magdalena Contreras, (9) Naucalpan y (10) Nicolás Romero.

de sistemas de riego que permiten duplicar la producción por unidad de superficie de algunos productos, en particular de la avena forrajera (cuadro 6.4).

La mayor parte de la producción está destinada al autoconsumo y al comercio local en los pueblos, así como al abastecimiento del interior del área urbana de la ciudad de México. El cultivo para autoconsumo está particularmente generalizado y resulta evidente durante la estación lluviosa, cuando las lomas y las vertientes de los valles de la rampa alta se tapiza de numerosas parcelas cultivadas que se intercalan con los usos habitacionales dispersos.

6.4.3. La actividad ganadera.

En la figura 6.5 se observan los principales tipos de ganado que existen en el área, entre los que destacan por el número de cabezas el ovino y el porcino; en menor proporción se crían aves de corral (gallinas, pavos, patos, gansos y codornices), conejos y colmenas. La distribución de las áreas dedicadas a este tipo de producción -sobre todo de ganado de talla grande- manifiesta una muy clara concentración en amplios sectores de morfología agreste.

La cría de animales grandes, destinada sobre todo a la producción de leche y carne para abastecer el mercado de la capital, se realiza mayoritariamente en granjas, las más importantes de las cuales se han emplazado exprofeso en los sectores bajos de la rampa (Cuautitlán Izcalli, Naucalpan y Nicolás Romero), con buenas condiciones de acceso al centro urbano. Pero también mantiene una cierta presencia en el grupo de entidades netamente serranas; de ellas Huixquilucan es la única que mantiene una actividad ganadera de gran importancia, concentrada en los relieves altos, aunque semillanos, del extremo superior de la rampa de enlace. La cría de animales pequeños, cuya producción se obtiene en buena medida de granjas familiares que se ubican incluso en el interior de viviendas, tanto en pueblos como en asentamientos dispersos sobre las laderas de la sierra.

6.4.4. El aprovechamiento de los bosques.

El aprovechamiento de los importantes recursos forestales existentes en la vertiente oriental de la Sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo sigue dos líneas principales: por una parte, la extracción física de productos (madera y leña) y por otra, el aprovechamiento de los bosques como espacios de interés turístico, dada su calidad paisajística y sus valores naturales.

6.4.4.1. La explotación forestal.

Según el último censo, efectuado en 1990, anualmente se extraen en el área de estudio 1.312,26 m³ de madera, de los cuales 516,5 m³ son de encino (*Quercus spp.*) -lo que representa el 40% de la producción total-, 427,3 m³ de pino (*Pinus spp.*) y 305,1 m³ de oyamel (*Abies religiosa*) (fig. 6.6). Debido a la falta de control gubernamental, las áreas de explotación están dispersas en el territorio y prácticamente todas las entidades analizadas que cuentan con el recurso (excepto Alvaro Obregón) presentan en mayor o menor grado producción forestal. No obstante se aprecia una particular concentración de este tipo de aprovechamiento en el macizo montañoso San Miguel, donde -en la delegación de Magdalena Contreras- se explotan 801,9 m³ de madera de pino y abeto, que representan el 61% de la producción total anual. Otra área concentradora de esta actividad son las laderas y altas rampas del macizo montañoso Las Cruces, donde -en el municipio de Naucalpan- se extraen 336.6 m³ anuales de madera, que representan el 25% del total; aquí son los encinares de valles y barrancos los más afectados por las talas, provocando una situación real de peligro de extinción.

Los pinares y encinares son explotados para la obtención de resinas y trementina (del *Pinus pseudostrobus*), la elaboración de postes y la fabricación de muebles, así como para su uso en la construcción y como combustible (carbón vegetal). De ellos, los encinares tal vez son objeto de un aprovechamiento más completo, ya que de ellos se extrae también la corteza, rica en taninos de gran utilidad en curtiduría, las bellotas, que se usan como alimento para el ganado porcino, y los propios suelos, ricos en mull forestal, que se comercializa como "tierra de hoja" en jardinería. También es común la explotación del "ocoteo", que consiste en el

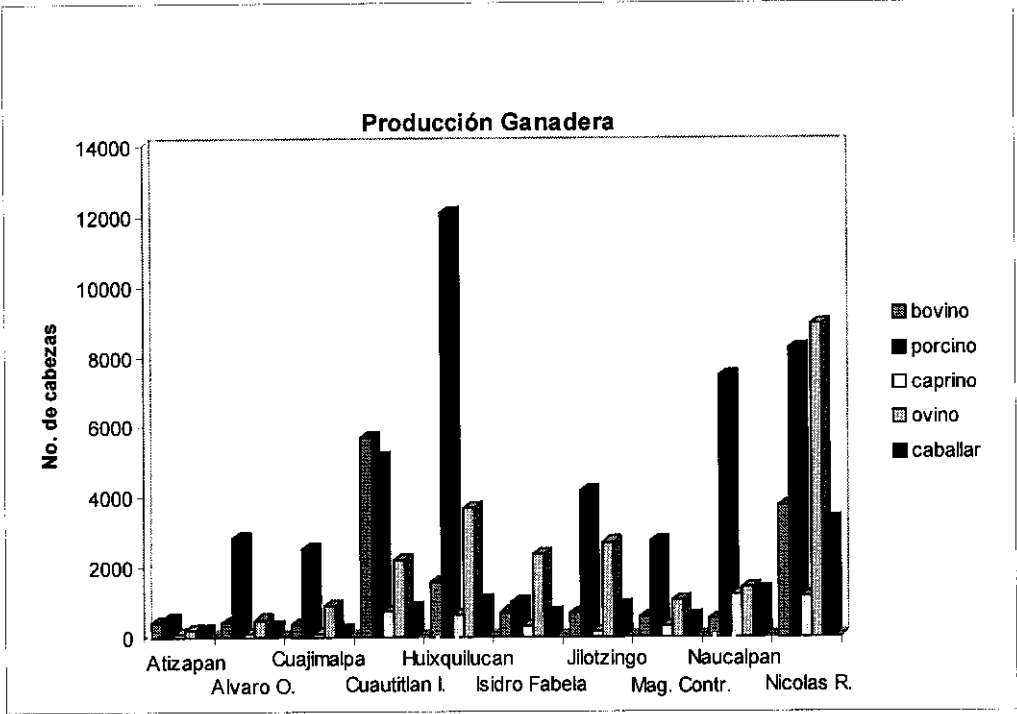


Figura 6.5. Producción ganadera según la entidad y tipo de cultivo.

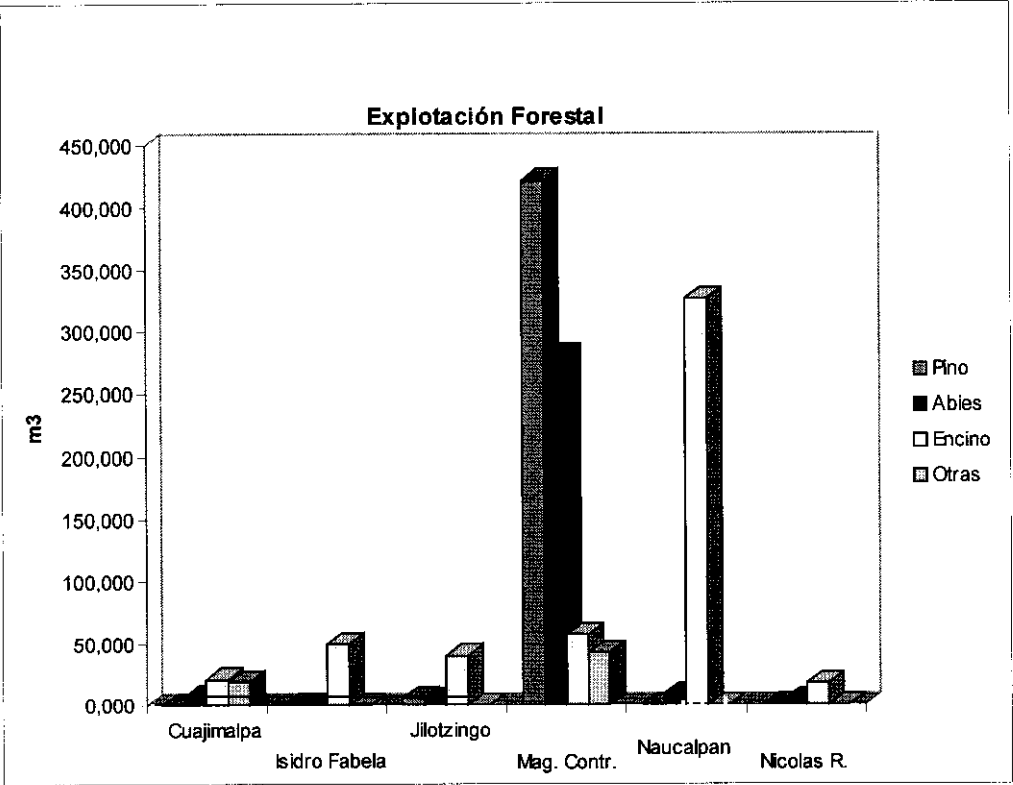


Figura 6.6. Producción de madera según la entidad y tipo.

rajado de los troncos de algunas variedades resinosas realizado para la obtención de combustible (ver el capítulo referente a la Vegetación). La madera de oyamel (*Abies religiosa*), blanda y de baja calidad que es poco aprovechada en la construcción está destinada a la producción de celulosa y papel. La explotación de esta especie para servir como “árbol de Navidad” es también una práctica frecuente, que escapa de todo control en algunos sectores del área.

6.4.4.2. El uso recreativo y la protección legal de los bosques.

Como consecuencia de la desmedida expansión urbana, a la que se ha hecho referencia, así como por el uso agrícola y la explotación forestal, los bosques que hace quinientos años cubrían prácticamente la totalidad de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo han sido mermados drásticamente en superficie, que ahora representa el % del total.

Además, los espacios forestales que se han conservado están siendo aprovechados como espacios de recreo, destinados principalmente para los habitantes de la capital. De ellos, El Desierto de los Leones y el de Los Dínamos, situados dentro de los límites del Distrito Federal son los más frecuentados por su cercanía con la urbe: Estos reciben semanalmente un contingente de visitantes que no se iguala en ningún otro lugar de la sierra (fig. 6.3). Pero el mayor problema con que se enfrenta este uso es la falta de una cultura ecológica adecuada por parte de los visitantes y la ausencia de un sistema de vigilancia capaz de asegurar el buen estado de la vegetación. Ello se traduce en numerosas formas de afectación negativa, como son la contaminación por basura del suelo y el agua de escorrentía, la recogida descontrolada de las piñas y bellotas, el pisoteo, los incendios forestales, etc.

La preocupación por esta situación de creciente deterioro se ha traducido en diversas acciones gubernamentales, por medio de las que se ha procurado brindar protección legal a los bosques. El primer intento -y seguramente el más representativo- fue la declaración, en 1917, del Parque Nacional Desierto de Los Leones (de 1.867 has.), seguido más recientemente por la de los parques nacionales de Los Remedios (236 has.), Los Dínamos (1.503 has.) y Miguel Hidalgo (fig. 6.3). Esta figura de protección legal implica en la legislación

mexicana una fuerte limitación a la explotación de los recursos forestales, que solo puede efectuarse cuando y en la medida que el organismo facultado para el cuidado de estos espacios lo considere pertinente. Dentro de su perímetro está prohibido el emplazamiento de nuevas viviendas, así como cualquier acción que implique riesgo de contaminación de cualquiera de los diversos elementos constitutivos del medio natural.

Desafortunadamente, seguido de la declaración de parques nacionales se han venido sucediendo nuevos programas y planes que se sobreponen unos con otros haciendo de la “protección legal” un asunto complicado y difícil de aplicar en la práctica, máxime porque se adolece del apoyo social y gubernamental necesario para asegurar la aplicación de dicha legislación. En consecuencia, aunque la superficie forestal incluida en estos parques aparentemente no ha registrado decrementos significativos en las últimas décadas, los bosques que la forman han sido intensamente talados y fuertemente afectados por la contaminación. El desinterés y la corrupción del aparato gubernamental que afecta a todo el país juega un papel muy importante en esta progresiva degradación de los bosques de la sierra.

6.4.5. La actividad minera y extractiva.

La actividad minera y la explotación de canteras se practica en la sierra desde la época del México colonial, localizándose entonces la mayor parte de los centros de extracción -de arena, grava de andesita y pómez- en la mitad sur del piedemonte. En la actualidad se cuenta con casi una decena de minas y canteras en el área (fig. 6.3), aunque la búsqueda de nuevos emplazamientos y la sustitución de los antiguos por otros tipos de aprovechamiento es actualmente un proceso tan dinámico que dificulta una cuantificación precisa de sus superficies.

Puede decirse que en las últimas décadas la explotación se realiza solamente en canteras a cielo abierto, que en conjunto cubren una superficie relativamente reducida (de aproximadamente 250 has.), equivalente al 0,2% del territorio estudiado. Se localizan preferentemente en las afueras del área urbana -donde la demanda de material para construcción es alta-, de tal manera que conforme la ciudad crece, las áreas mineras se incorporan a los usos urbanos, en tanto que

nuevos centros de extracción se abren en las cercanías de los nuevos límites urbanos. Así, el proceso expansivo de la urbe va desplazando estos centros a niveles cada vez más altos de la sierra, por lo que implica riesgos cada vez mayores de afectación a los entornos naturales que aún hoy perviven en ellos.

Hay que destacar finalmente los efectos negativos que las actividades mineras del pasado tienen actualmente en el territorio. Como ya se explicó en el apartado dedicado a la geomorfología, hasta el siglo pasado todavía se escavaban túneles para la explotación de capas de piedra pómez fina. La red de galerías realizadas para este fin abarcó una estrecha franja pedemontana comprendida entre los ríos Hondo y La Magdalena, siendo en la actualidad alto el riesgo por subsidencias debidas al desplome de los túneles.

6.5. Los sistemas de uso y ocupación del suelo.

De la misma forma que ocurre en el entorno de muchas otras ciudades del mundo, los aprovechamientos agropecuarios y forestales -e incluso los extractivos-, en la vertiente oriental de la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo se disponen a manera de cinturones que bordean al área urbana de la Ciudad de México, con la que mantienen estrechas y complejas relaciones. Sin embargo, en este caso, dicha organización del espacio está sometida a un rápido desplazamiento y a una continua transformación y ha sido alterada como consecuencia de la intensa dinámica expansionista de la capital en las últimas décadas.

Desde que las actividades agrícolas se establecieron en las faldas de la sierra durante la época colonial, las tierras cultivadas han venido constituyendo un "área colchón" entre los bosques y la urbe, de tal forma que la ciudad crecía en detrimento del cinturón agropecuario y éste lo hacía sobre el forestal, en un proceso que se trasladaba cada vez a mayor altura sobre las rampas y laderas de la sierra. Sin embargo, a partir de la cuarta década del siglo la aceleración del crecimiento urbano alteró dicho patrón de sustitución "urbe-cinturón agrícola-cinturón forestal": ahora los usos urbanos se asientan con mucha frecuencia de forma directa sobre terrenos forestales, complicando las relaciones entre los diversos usos del suelo. Debido a ello, en la actualidad el área de contacto entre

la ciudad y los ámbitos agroforestales es una amplia franja -más o menos continua según los sectores- en la que los modos urbanos y rurales de ocupación del suelo se entremezclan en un complejo mosaico. Es posible, en todo caso, afirmar la existencia en el área estudiada de tres franjas diferenciadas por los usos predominantes y en las cuales el grado de influencia antrópica es un factor definitorio.

6.5.1. Las áreas densamente ocupadas e inmersas física y funcionalmente en el área urbana de la ciudad de México.

Corresponde esta superficie con la porción de la vertiente que forma parte del área urbana de la Ciudad de México, siendo su principal característica el alto grado de antropización y una casi absoluta eliminación de algunos de los más característicos elementos naturales del paisaje. La ocupación de esta superficie es resultado de un proceso acelerado y continuo que se ha desarrollado en la última mitad del presente siglo. En este lapso el uso habitacional se ha consolidado como el más representativo, favorecido por los procesos migratorios hacia los suburbios, ubicados en las partes bajas de la sierra. Las actividades comerciales y de servicios han surgido como una respuesta al poblamiento y actualmente ocupan un segundo puesto de importancia. Debido a todo ello, una masa importante de la población urbana ha pasado a residir en el área de estudio, manteniendo amplias relaciones con el centro de la capital, donde se concentran las actividades laborales, sociales, de recreo, etc.

Por su parte, las actividades industriales, que originalmente fueron uno de los motores de la inmigración, continúan teniendo cierta importancia en las entidades ubicadas al pie de la sierra que han sido incorporadas a la mancha urbana. La localización de las factorías sigue teniendo implicaciones nefastas sobre la ecología de la vertiente, sobre todo porque los residuos contaminantes vertidos a la atmósfera son arrastrados hacia el interior de la sierra por los vientos dominantes del noreste.

6.5.2. Las áreas de moderada ocupación y aprovechamiento agropecuario.

Estas áreas forman en conjunto una franja de aprovechamiento rural-urbano que bordea al área anterior, siendo su principal peculiaridad la intensa y compleja dinámica de sustitución de usos del suelo, originalmente rurales por otros de tipo urbano. Como resultado de ello, la pauta de distribución de usos es un mosaico particularmente complicado y cambiante. En el interior de esta franja la población se concentra en las cabeceras de pueblos, establecidos desde antiguo pero que se ven ahora afectados por un activo crecimiento demográfico -como Chimalpa, Acopilco, Tlaltenango y Xochiac-, así como en los fraccionamientos residenciales construidos sobre terrenos semillanos de las franjas interfluviales de la rampa. No obstante, un significativo porcentaje de las construcciones está disperso en las laderas de los valles y en barrancos, casi siempre en terrenos ilegales cercanos a los suburbios urbanos o a los bordes de los pueblos; o bien se dispone a lo largo de las principales vías de acceso a la capital.

Sin embargo, una parte mayoritaria de esta superficie no está ocupada, de tal forma que sigue siendo susceptible de ser aprovechada en la producción agrícola o para el ganado. Este predominio espacial de los usos agrarios es más marcado en la extensa rampa Norte, al pie del macizo Catedral, donde se tienen las mayores producciones agropecuarias (sobre todo en los extensos campos del municipio de Villa Nicolás Romero). Conforme se avanza hacia el sur -y aumenta la cercanía con el centro de la capital- los porcentajes de espacio dedicados al aprovechamiento agrario decrecen, aunque siguen siendo importantes en municipios relativamente no muy alejados de ésta (Atizapán de Zaragoza y Naucalpan) y ya son porcentajes bajos en las delegaciones del Distrito Federal. En estas últimas entidades los usos urbanos ejercen una gran presión sobre los sectores de ocupación dispersa, que tienden a densificarse en detrimento de las actividades agropecuarias: así, antiguos campos de cultivo están la mayor parte del tiempo improductivos, esperando el momento de incorporarse a la masa urbana. En invierno de 1990 sólo un 30% de las áreas no construidas de las citadas delegaciones, susceptibles por tanto de ser cultivadas, estaban dedicadas a alguna actividad agraria.

Puede decirse, pues, que el sector de la franja rural-urbana comprendido en el Distrito Federal es el más dinámico y cambiante; y, pese a que las tres delegaciones muestran en los últimos años una apreciable tendencia a disminuir las tasas de crecimiento, las áreas de ocupación dispersa alcanzan ya la base de las laderas del macizo montañoso San Miguel. Y es de destacar que las políticas gubernamentales están limitando cada vez más la aparición en ella de fraccionamientos ilegales -comúnmente de población de bajos recursos-, a la vez que permiten el emplazamiento de grandes complejos comerciales y de fraccionamientos de lujo para habitación y oficinas (que en la mayoría de los casos implican grandes cambios en la topografía con consecuentes alteraciones en los distintos subsistemas del medio).

6.5.3. Las áreas de escasa ocupación y aprovechamiento agropecuario y forestal.

Corresponden a los sectores altos de la rampa de enlace y a las laderas de los relieves montañosos de menor elevación caracterizados por quedar fuera del radio de mayor influencia urbana, por lo cual mantienen una fisionomía rural mejor definida que en el caso de la franja anterior. La población que los habita se concentra en los pueblos de Transfiguración, Fabela, Jilotzingo, Mazatla, Ayucan, Tepatlaxco y Ayotusco. Son todos ellos de baja densidad habitacional y de estructura sencilla, con cabeceras pequeñas y una sola vialidad principal que los comunica con el área urbana de la Ciudad de México.

El proceso de inmigración ha tenido poco impacto en los incrementos poblacionales de esta zona, toda vez que el tiempo de desplazamiento entre los pueblos y el área urbana es largo. De esta forma, el crecimiento natural de la población es el proceso más importante que explica el estado actual de la ocupación del espacio: el crecimiento poblacional al interior de los pueblos es poco dinámico y los cinturones de población dispersa que bordean a las cabeceras tienen bajas densidades de población y escasa tendencia a la densificación. Fuera del radio de los pueblos, la ocupación es muy escasa y en su lugar los usos agrícolas, ganaderos y forestales predominan con amplitud.

Una parte importante de los habitantes son nativos dedicados por tradición al cultivo de productos anuales para autoconsumo y para el comercio en los mercados locales de los pueblos vecinos y en los subcentros urbanos más cercanos. Las relaciones con la urbe son, no obstante, estrechas aunque menos definidas y directas que en el caso anterior. Puede decirse que los subcentros urbanos sustituyen aquí las funciones del centro de la ciudad en cuanto a dotación de servicios y comercios que nutren las necesidades de los habitantes del área. Debido a ello, los traslados de la población rural a la capital se reducen considerablemente.

En esta zona existe un contacto directo entre los pueblos y los espacios arbolados, que tradicionalmente han sido objeto de una explotación complementaria con las actividades agrícolas y ganaderas. Dicha explotación ha afectado ya fuertemente a los bosques de la rampa superior y del macizo de Las Cruces, a pesar de lo cual las extracciones de productos forestales se siguen desarrollando, como se constata en el caso del municipio de Naucalpan donde, a pesar de que los mejores encinares están prácticamente extintos, los desmontes son aún tan intensos que la convierten en la entidad con mayor producción de madera de encino.

6.5.4. Las áreas de aprovechamiento forestal.

El predominio de los usos forestales se da bajo ambientes muy específicos que solo se registran en las laderas y cumbres de los macizos montañosos de Catedral y San Miguel, en las que se sostienen las mayores y mejor conservadas masas de bosque de la vertiente. En el tramo central de la sierra, en el macizo Las Cruces los bosques han sido reducidos por el hombre a manchas dispersas entre cultivos, por lo que dicho macizo se ha integrado en el área anterior.

Aunque desafortunadamente no ha sido posible evaluar la población que habita en el interior de estos bosques de alta montaña, se sabe que es muy escasa y que está compuesta tanto de nativos como de inmigrantes. Estos últimos comúnmente son adinerados que, valiéndose de la corrupción gubernamental, adquirieron los permisos para construir en dichos sitios. Los habitantes nativos, por su parte, están por tradición dedicados a actividades agrícolas y ganaderas

con fines de autoconsumo y para la venta en pequeños mercados locales de los pueblos vecinos que afectan escasamente a las masas boscosas; el aprovechamiento de éstas consiste en el ocoteo para la obtención de combustible y en el desmonte y aclarado para abrir terrenos a las citadas actividades agropecuarias.

En las últimas décadas, y debido a la consolidación de los bosques como espacios de ocio y turismo para los capitalinos, se han conformado dentro de esta área forestal los ya citados parques nacionales del Desierto de los Leones y de Los Dínamos, ambos en el macizo meridional de San Miguel y ya prácticamente adjuntos a la ciudad. Las áreas forestales del macizo Catedral, de particular extensión y calidad, distan más de una hora en transporte público de la ciudad, por lo que hasta el presente no han sido afectadas por el turismo en masa.

En todos los enclaves donde la actividad turística se ha arraigado se ha favorecido la evolución de mercados locales, donde los habitantes nativos y los de los pueblos vecinos se han abocado a la vendimia de alimentos típicos que se ofertan a los visitantes, al tiempo que los intereses comerciales han atraído inversiones externas por las cuales se les ha dotado a estos bosques de una serie de servicios complementarios (restaurantes, renta de caballos y motocicletas, así como pesca en criaderos de trucha).

En todo caso, estas áreas forestales acogidas en los más elevados relieves montañosos encierran la mayor riqueza natural y paisajística de la sierra. Una riqueza que, sobre todo en las más meridionales, muestra ya claros signos del daño causado por la constante y cada vez más densa presencia humana y por la contaminación atmosférica procedente de la ciudad.

6.6. Conclusiones.

Todos los caracteres de la influencia antrópica en la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo derivan del contacto que se da entre el medio natural de montaña particularmente rico y el frágil y un área

urbana de grandes dimensiones y en fuerte expansión, como es la Ciudad de México. Este contacto adquirió una intensidad y un dinamismo excepcionales a partir de la cuarta década de este siglo, al desencadenarse el proceso de antropización impulsado con la migración de provincianos y capitalinos hacia los suburbios de la urbe. A partir de entonces la mancha urbana sigue avanzando sobre el área de estudio generando complejos procesos de sustitución de usos del suelo agropecuarios y forestales por nuevos aprovechamientos sobre todo de tipo habitacional.

El sector de la vertiente que concentra en la actualidad las mayores transformaciones tiene la forma de una amplia franja adosada a las áreas de la misma que ya han sido plenamente incorporadas a la ciudad. En él la ocupación se realiza por procesos entre los que se señalan la ampliación y densificación de los antiguos pueblos rurales, junto con la creación de nuevos fraccionamientos y complejos comerciales y de servicios que así aceleran el proceso de conurbación de los pueblos dispersos en la vertiente. Los bosques apenas existen y las tierras de labor, comúnmente abandonadas, pasan a formar parte del espacio urbanizado.

Las partes altas de la rampa de enlace así como las laderas y cumbres de los macizos montañosos escapan de este patrón y mantienen ambientes de tinte más rural, aunque ciertamente influenciado por la cada vez más cercana urbe. En ellas el crecimiento habitacional es moderado y los aprovechamientos son fundamentalmente agropecuarios y forestales, predominando los primeros en las rampas superiores y en los macizos menos elevados (como el de Las Cruces) y los segundos en los conjuntos montañosos de mayor elevación (como los macizos de Catedral y San Miguel). Estas áreas, sin embargo, están expuestas a graves riesgos derivados de la densificación de la población, de la explotación descontrolada de los recursos forestales, de la introducción de nuevos usos turísticos y recreativos y de la llegada de grandes volúmenes de contaminantes atmosféricos procedentes de la aglomeración urbana.

Puede decirse, pues, que bajo un marco dominado por la desorganización de la actividad humana y por la falta de una efectiva política de protección, la influencia de la ocupación y la actividad antrópica sobre los paisajes naturales de la sierra ha sido y es negativa desde todos los puntos de vista y con resultados

más nefastos en las partes bajas de la sierra. Esta influencia negativa se deja sentir de forma muy intensa sobre los componentes mesoestructurales más dependientes y que se manifiestan a la misma escala que el antropismo: las aguas, el relieve, la vegetación y el suelo.

7. LA VEGETACIÓN.

7.1. El stock florístico.

De acuerdo con su localización y con sus condiciones orográficas, climáticas, geomorfológicas e hidrológicas, la vertiente oriental de la sierra de las Cruces y Monte Alto queda en su práctica totalidad dentro del área potencial de los "bosques de coníferas y encinos" del Cinturón Volcánico Transmexicano (Rzedowski y Equihua, 1987). Las coníferas corresponden a los géneros *Abies*¹ y *Pinus*, mientras que los encinos son planifolias pertenecientes al género *Quercus*² (cuadro 7.1 y fig. 7.1).

Del género *Abies* sólo se encuentra una especie, *Abies religiosa*, conocido como "oyamel" o "abeto", que constituye formaciones puras o -más frecuentemente- mixtas con otras coníferas o frondosas, siempre en ambientes frescos, muy húmedos y preferentemente resguardados. Los ejemplares de esta especie son árboles de gran talla (hasta 30 m), con porte en forma cónica, tronco grueso, corteza áspera y madera blanca de baja calidad, estando constituido su follaje por agujas (acículas) cortas y agudas insertas en ramillas.

Del género *Pinus*, por el contrario, aparecen varias especies, entre las cuales *P. Hartwegii*, *P. leiophylla*, *P. Montezumae*, *P. pseudostrobus* y *P. patula* son las más abundantes. Todas ellas son arbóreas, presentando tallas que oscilan entre los 8 y los 25 m, y, pese a que su fisionomía muestra amplias variaciones, todas ellas reciben el nombre común de "pinos" u "ocotes". El *Pinus Hartwegii* tiene particular interés por ser la única especie arbórea que crece en los climas fríos de las más elevadas laderas y cimas montañosas, donde constituye bosques prácticamente monoespecíficos; es el pino de mayor tamaño (30 m) y está bien diferenciado por su copa amplia y bastante redondeada, sus acículas cortas y tiesas agrupadas de tres en tres y su madera dura y resinosa, muy utilizada como combustible. Pero el pino más representativo por su amplia distribución es *Pinus leiophylla*, que se encuentra formando agrupaciones mixtas con abeto, en las

¹ En México el abeto es mejor conocido con el nombre de oyamel.

² En México el encino es el nombre común con el que se engloba a todas las especies del género *Quercus*.

partes altas de la vertiente, o con encinos los sectores basales de ésta; es de menor altura (25 m como máximo) y se caracteriza por su corteza negruzca y áspera y sus acículas largas envainadas de cinco en cinco. Otra especie digna de destacar es *Pinus patula*, ya que no formaba parte del *stock* florístico natural de la sierra, donde fue introducida a partir de repoblaciones en el Parque Nacional Desierto de los Leones; este pino de madera poco resinosa llega a medir 25 m y se diferencia por su tronco rojizo y escamoso y su follaje formado por acículas muy largas, delgadas y colgantes agrupadas de tres en tres, formando masas muy densas.

También aparece en el área una conífera de la familia de las cupresáceas, el *Cupressus Lindleyi*, conocido en el lenguaje común como cedro o ciprés, que, aunque parece formar parte de la flora natural de la vertiente, sólo tiene presencia significativa -llegando a constituir alguna mancha casi pura- en enclaves de la rampa donde ha sido plantado por el hombre. Se trata de un árbol grande, de hasta 30 m de altura, caracterizado por su follaje denso y oscuro, formado por hojas escamiformes agudas, y por su madera blanca y resistente.

Entre las latifoliadas ocupan el primer lugar por su abundancia las fagáceas y de ellas los encinos (*Quercus*), casi siempre con forma de vida arbórea, desempeñan -como se ha dicho- un papel predominante en la cubierta vegetal de la sierra, constituyendo con las coníferas formaciones mixtas o bosques puros. Estos últimos -los encinares- se mantienen siempre verdes, debido a que el periodo de carencia de hojas en estos árboles es corto (de unas dos semanas en febrero) y no coincide el de unas con el de otras especies. No obstante su pertenencia a un solo género, los encinos muestran una fisonomía muy variada, con notables diferencias incluso entre ejemplares de una misma especie (es muy frecuente que las hojas cambien de forma conforme maduran, por lo que el aspecto puede cambiar según la edad de cada árbol).

Existen varias especies de amplia distribución en la vertiente, entre las que destacan *Q. crassipes*, *Q. laurina* y *Q. rugosa*, que suelen aparecer juntas formando comunidades mixtas. El primero de estos encinos mide de 3 a 8 m y tiene tronco corto, corteza oscura y hojas oblongas y cortamente pecioladas, gruesas, tiesas y tomentosas en la cara inferior. El segundo mide de 10 a 20 m y se caracteriza por sus hojas oblongo lanceoladas, de ápice agudo y poco

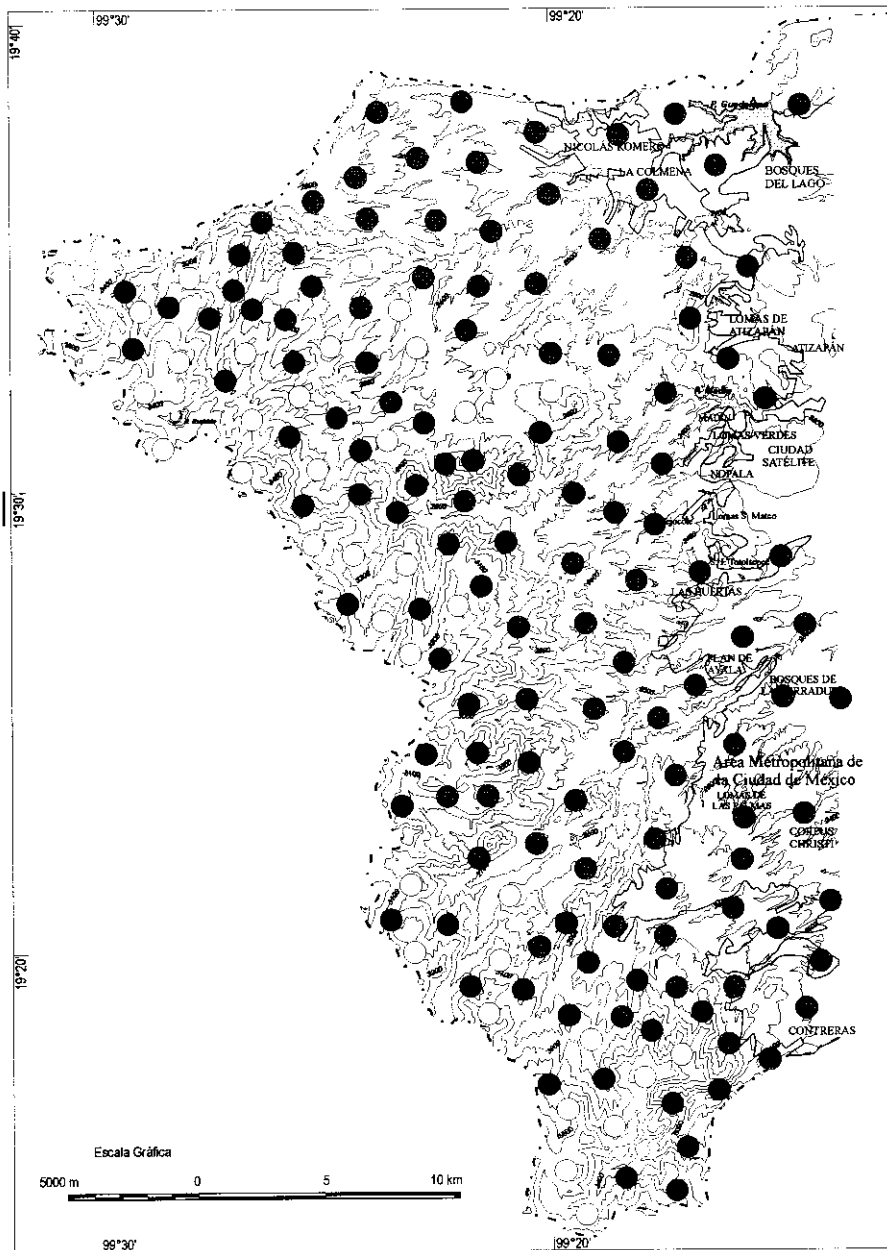


Figura 7.1. Distribución de los géneros *Abies* (●), *Pinus* (○) y *Quercus* (◐) en el área de estudio.

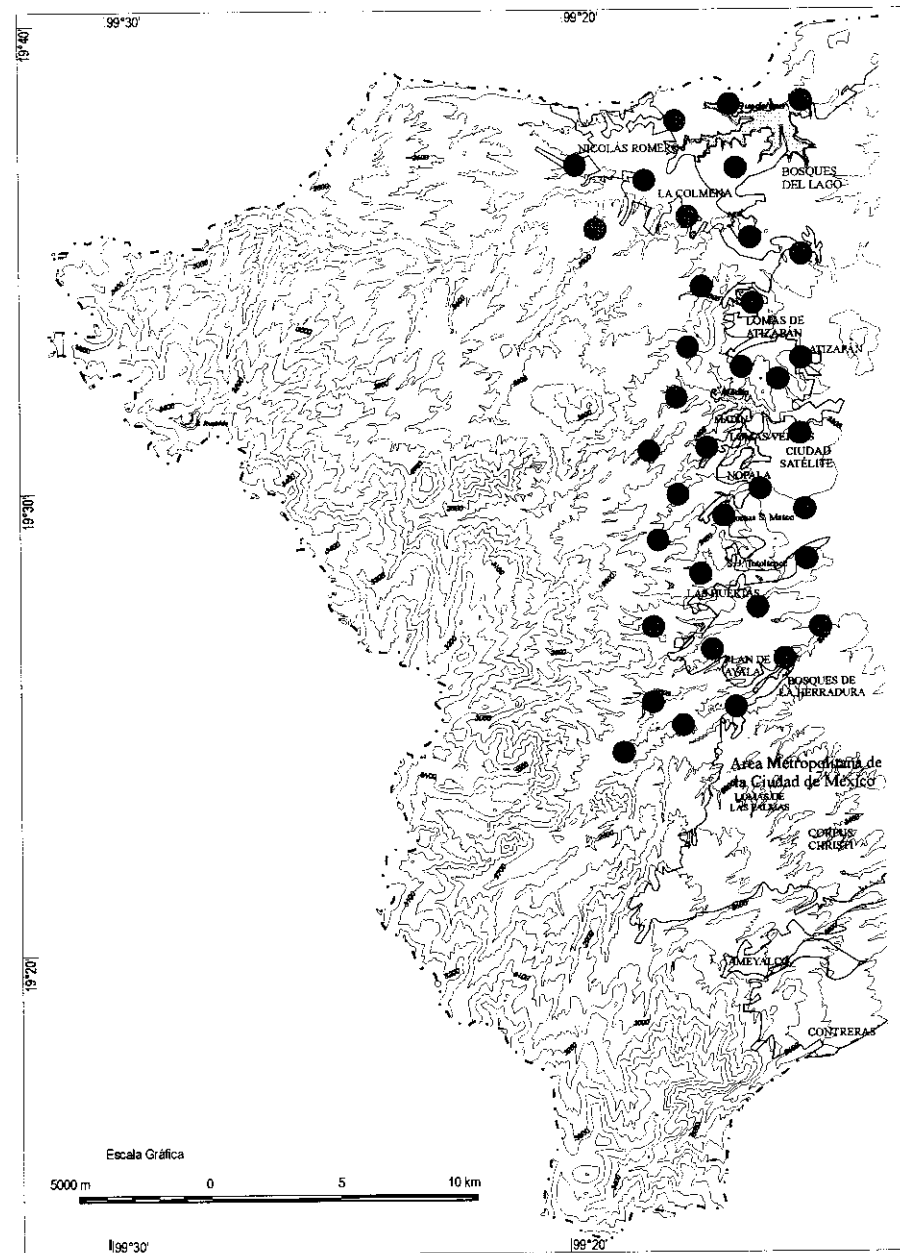


Figura 7.2. Distribución de los géneros *Opuntia* (●) y *Mimosa* (◐) en el área de estudio.

tomentosas en el envés, y por su tronco oscuro y áspero. El tercero, por su parte, mide de 10 a 15 m y se diferencia por sus hojas más amplias, gruesas y - como su nombre indica- notoriamente rugosas. También tienen una apreciable representación *Q. lanceolata*, *Q. mexicana*, *Q. castanea*, *Q. centralis* y *Q. laeta*.

Además de éstas se encuentran en el área otras especies de *Quercus* menos abundantes, pero cuya talla y forma de hojas tienen un apreciable significado ecológico. Los más bajos y de hojas más pequeñas y gruesas son características de los ambientes menos favorecidos por el clima y más degradados por las acciones antrópicas (áridos o alterados): este es el caso de *Quercus texcocana* y *Quercus microphylla*, cuyo follaje está compuesto por hojas de menos de cinco centímetros de largo, rígidas y gruesas.

Otros árboles planifolios de particular interés por su valor como indicadores ecológicos o por su frecuente presencia en los bosques de sierra son el cuauchichie, el capulín, el tejocote y el madroño; ninguno de ellos constituye formaciones propias, presentándose siempre en comunidades mixtas con abetos o con encinos y pinos. El cuauchichie (*Garrya laurifolia*), de la familia de las garryáceas, es un árbol de 6-7 m de altura con follaje siempre verde compuesto por hojas oblongo-lanceoladas muy parecidas a las del laurel, que es característico de áreas de montaña frescas y muy húmedas donde puede formar masas densas salpicadas de abetos. El capulín (*Prunus capuli*) es una rosácea arbórea de 10 a 15 m de altura, con tronco grisáceo, ramas colgantes y hojas lanceoladas, aserradas y lustrosas, fácilmente reconocible por su fruto de color negro; aparece con mucha frecuencia salpicado en abetales o en formaciones mixtas de encinos y pinos. También de la familia de las rosáceas, el tejocote (*Crataegus mexicana*) mide unos 6 m y es bien reconocible por sus ramas tiesas, largas y armadas de espinas, sus hojas lanceoladas y sus frutos amarillos de 1 a 2 cm (que, lo mismo que los del capulín, son recolectados y comercializados en el mercado local); aparece de forma aislada sobre todo en encinares de la base de las laderas montañosas o de la rampa. Por su parte, el madroño (*Arbutus xalapensis*) se caracteriza por su talla alta -unos 15 m-, su tronco y ramas rojizas, sus hojas oblongas de 3 a 10 cm de largo y su fruto oscuro, apareciendo por lo normal en bosques mixtos de coníferas y encinos en emplazamientos de mediana humedad y no demasiado fríos.

Mención especial merece el aile (*Alnus firmifolia*), porque, pese a su limitada presencia en el área, constituye formaciones propias en algunas de los sectores más elevados y fríos de las laderas; este árbol de hoja oblonga y caduca y tronco lustroso, pertenece a la familia de las betuláceas y puede llegar a los 10-12 m de altura. Junto con él se han de citar también -por el mismo hecho de que localmente pueden formar manchas o bosquetes puros- dos especies de hoja plana exóticas que han sido introducidas en la sierra y se han adaptado bien a sus condiciones ambientales: el pirul y el eucalipto. El pirul (*Schinus molle*) es una anacardiácea siempre verde de porte achaparrado (3-6 m de altura) y hojas compuestas imparipinadas con folíolos lanceolados, que fue importada del Perú en la época de la colonia española y se ha propagado abundantemente por la vertiente, no por plantación, sino debido a la diseminación de sus semillas por las aves que se alimentan de sus frutos; crece en claros y en áreas degradadas (particularmente barrancos) de las partes inferiores y más áridas de la rampa, donde -como se ha dicho- puede formar rodales o manchas diferenciadas. Por su parte, el eucalipto (*Eucalyptus globulus*), árbol de la familia de las mirtáceas originario de Australia caracterizado por sus hojas lanceoladas curvas y su madera aromática, ha sido introducido en tiempos recientes y se ha empleado para reforestar -con mediocres resultados- sectores muy degradados inmediatos o próximos al borde del área urbana.

Las formaciones forestales de coníferas, de coníferas y encinos y de encinos que constituyen lo más representativo de la vegetación de la sierra presentan (salvo los pinares de *Pinus Hartwegii*) densos y ricos sotobosques constituidos por especies de talla arborescente o arbustiva (cuadro 7.2), la mayor parte de las cuales pertenecen a dos familias: la de las compuestas, a la que corresponden las más características de los bosques desarrollados en ambientes frescos y húmedos, y la de las leguminosas, en la que se integran los arbolillos y arbustos que predominan en los bosques más templados y menos ricos en humedad (así como los que forman los matorrales y salpican los pastizales derivados de la destrucción o degradación de éstos). Se puede señalar, sin embargo, la existencia dentro de las compuestas de tres géneros -*Baccharis*, *Eupatorium* y *Senecio*- que tienen una gran amplitud ecológica y son muy comunes en gran parte de los sotobosques de coníferas y latifoliadas, por lo que se distribuyen en toda la vertiente.

Familia	Nombre científico	Nombre común
1	<i>Abies religiosa</i>	oyamel o abeto
2	<i>Alnus firmifolia</i>	aile u olmo
3	<i>Arbutus glandulosa</i>	madroño
3	<i>Arbutus xalapensis</i>	"
3	<i>Arctostaphylos arguta</i>	garambuyo
4	<i>Clethra mexicana</i>	jaboncillo
5	<i>Crataegus mexicana</i>	tejocote
1	<i>Cupressus Lindlyi</i>	ciprés
6	<i>Eucaliptus globulus</i>	eucalipto
8	<i>Garrya laurifolia</i>	cuauchichie
1	<i>Pinus Hartwegii</i>	pino <i>Hartwegii</i>
1	<i>Pinus Leiophylla</i>	pino chino
1	<i>Pinus Montezumae</i>	pino de Moctezuma
1	<i>Pinus patula</i>	pino colorado
1	<i>Pinus pseudostrobus</i>	pino lacio
1	<i>Pinus teocote</i>	pino chino
5	<i>Prunus capuli</i>	capulín
9	<i>Quercus Bourgaei</i>	encino
9	<i>Quercus candicans</i>	"
9	<i>Quercus castanea</i>	encino negro
9	<i>Quercus centralis</i>	encino
9	<i>Quercus conglomerata</i>	"
9	<i>Quercus dispersa</i>	teposcohuite
9	<i>Quercus crassipes</i>	encino laurel
9	<i>Quercus Dysophylla</i>	encino
9	<i>Quercus glabrescens</i>	"
9	<i>Quercus Hartwegii</i>	"
9	<i>Quercus laeta</i>	encino prieto
9	<i>Quercus lanceolata</i>	encino manzanillo
9	<i>Quercus laurina</i>	encino laurelillo
9	<i>Quercus magnoliaefolia</i>	encino nopis
9	<i>Quercus mexicana</i>	encino tezahuatl
9	<i>Quercus obtusata</i>	encino carrasco
9	<i>Quercus rugosa</i>	encino quebracho
9	<i>Quercus rugulosa</i>	encino
9	<i>Quercus texcocana</i>	encino blanco
7	<i>Salix oxylepis.</i>	sauce
10	<i>Schinus molle</i>	pirul
11	<i>Viburnum stellatum</i>	

Fuente: Inventarios de vegetación

- | | | | |
|-------------|-------------------|--------------------|---------------|
| 1. Pináceas | 2. Betuláceas | 3. Ericáceas | 4. Cletráceas |
| 5. Rosáceas | 6. Haloragáceas | 7. Salicáceas | 8. Garryáceas |
| 9. Fagáceas | 10. Anacardiáceas | 11. Caprifoliáceas | |

Cuadro 7.1. Vegetación arbórea representativa.

Las plantas del género *Baccharis* suelen recibir el nombre de escobillas, siendo *Baccharis conferta* la más representativa de ellas. Este arbusto de 1 a 2 m de altura, ramoso desde la base y glutinoso, con hojas dentadas de 2 cm de largo y flores blancas, es particularmente común en ambientes fríos y frescos de montaña, pasando a ser elemento principal en los matorrales de áreas aclaradas de los bosques existentes en ellos. Dentro del género *Eupatorium* destaca el hilo (*Eupatorium glabratum*), arbusto de hojas romboideo-oblongas que puede alcanzar más de 2 m de altura y abunda sobre todo en los bosques mixtos de pino y oyamel. El género *Senecio*, por su parte, está representado fundamentalmente por tres especies, cuya talla puede llegar a los 3 m, que en conjunto tienen un alto grado de presencia en los bosques de la totalidad de la sierra: *Senecio barba-Johannis* (conocido como "Barba de San Juan de Dios"), de hoja aovado-oblonga largamente peciolada, que crece sobre todo en lugares frescos y sombreados; *Senecio salignus* (comúnmente llamado jarilla), de hojas elíptico-lanceoladas, que se distribuye por la práctica totalidad del área y puede formar densos matorrales en los sectores abiertos y bien iluminados; y *Senecio Roldana* (al que se da el nombre de senecio), de hoja lobulada muy tomentosa en el envés, que se desarrolla particularmente bien en bosques mixtos de encinos y coníferas no demasiado cerrados.

En el sotobosque y los márgenes de los encinares puros muy degradados de las laderas de valle y los barrancos más cálidos y secos de la rampa tienen también una elevada -y creciente- presencia los tepozanes, grandes arbustos del género *Buddleja* (perteneciente a una familia muy próxima a la de las oleáceas, la de las loganiáceas). Son comunes en enclaves contaminados y, como se adaptan a un mínimo espacio de suelo, se les considera plantas pioneras. Corresponden a dos especies muy parecidas, *Buddleja lanceolata* y *Buddleja cordata*, los ejemplares de las cuales son ramosos casi desde la base y tienen hojas largas (entre 8 y 30 cm) y gruesas, lanceoladas y tomentosas, y flores vistosas de color amarillo. No obstante tener una forma de vida arbustiva, algunos individuos pueden alcanzar tallas de hasta 6 m y portes arborescentes.

Menos comunes que las compuestas (escobilla, jarilla, senecio, hilo, etc.) y los tepozanes y con claro carácter de plantas indicadoras de cierta sequedad ambiental, las leguminosas arbustivas se encuentran sobre todo en el sotobosque de los encinares más o menos puros que se distribuyen en los sectores centrales

Familia	Nombre científico	Nombre común
1	<i>Acaena elongata</i>	pegarropa
3	<i>Agave ferox</i>	maguey
1	<i>Amelanchier denticulata</i>	membrillo cimarrón
2	<i>Baccharis conferta</i>	escobilla
2	<i>Baccharis glutinosa</i>	"
2	<i>Baccharis heterophylla</i>	"
2	<i>Baccharis ramulosa</i>	"
2	<i>Baccharis sordescens</i>	"
2	<i>Brickellia pendula</i>	
4	<i>Buddleja americana</i>	tepozán
4	<i>Buddleja cordata</i>	"
4	<i>Buddleja lanceolata</i>	"
4	<i>Buddleja sessiliflora</i>	"
5	<i>Cestrum anagyris</i>	
5	<i>Cestrum terminale</i>	
6	<i>Cornus excelsa</i>	tepecuilotl
7	<i>Cunila lythrifolia</i>	
8	<i>Echeveria glauca</i>	conchita
2	<i>Eupatorium aschembornianum</i>	eupatorium
2	<i>Eupatorium brevipes</i>	"
2	<i>Eupatorium deltoideum</i>	xolochichitl
2	<i>Eupatorium glabratum</i>	hilo
2	<i>Eupatorium petiolare</i>	"
9	<i>Fuchsia microphylla</i>	
9	<i>Fuchsia minimiflora</i>	
	<i>Gaultheria acuminata</i>	
12	<i>Indigofera sp.</i>	
11	<i>Malvastrum lacteum</i>	
12	<i>Mimosa acanthocarpa</i>	uña de gato
2	<i>Montanoa frutescens</i>	margalagua
2	<i>Montanoa tomentosa</i>	zuapatli
10	<i>Opuntia sp.</i>	nopal
5	<i>Physalis acuminata</i>	tomatillo
13	<i>Ribes affine</i>	capulincillo
13	<i>Ribes pringlei</i>	"
13	<i>Ribes rugosum</i>	"
1	<i>Rosa Montezumae</i>	escaramujo
1	<i>Rubus sp.</i>	zarzamora
2	<i>Senecio andrieuxii</i>	"
2	<i>Senecio angulifolius</i>	"
2	<i>Senecio barba-Johannis</i>	barba de San Juan
2	<i>Senecio platanifolius</i>	senecio
2	<i>Senecio roldana</i>	senecio
2	<i>Senecio salignus</i>	jarilla
2	<i>Stevia salicifolia</i>	
2	<i>Verbesina virgata</i>	romerillo
2	<i>Viguiera buddleiaeformis</i>	acahual

Fuente: Inventarios de vegetación

- | | | | |
|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| 1. Rosáceas | 2. Compuestas | 3. Amarilidáceas | 4. Loganiáceas |
| 5. Solanáceas | 6. Cornáceas | 7. Labiadas | 8. Crasuláceas |
| 9. Onagráceas | 10. Cactáceas | 11. Malváceas | 12. Leguminosas |
| 13. Saxifragáceas | | | |

Cuadro 7.2. Vegetación arbustiva representativa.

y septentrional de la rampa de enlace (fig. 7.2). Entre ellas, las especies con más alto grado de presencia son *Mimosa acanthocarpa* (uña de gato), *Prosopis juliflora* (mezquite), *Acacia farnesiana* (huizache), *Pithecollobium palmeri* y *Calliandra anomala*. En ambientes poco húmedos de la rampa de enlace también crecen cactáceas de talla arbustivas, pudiendo observarse en ellos nopaleras de *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia hyptiacantha*; estas plantas espinudas, con arículos oblongos que miden menos de 50 cm de largo y flores amarillas y rojas respectivamente, pueden alcanzar hasta 5 m de altura. Otra planta de hoja carnosa, el maguey (*Agave ferox*), se encuentra igualmente diseminada con cierta amplitud, aunque su presencia en el área no es natural, sino que se debe a su introducción como cultivo o como elemento para dividir parcelas y para controlar laderas afectadas por la reptación.

En cuanto a los subarbustos y las herbáceas, que constituyen los estratos inferiores de los sotobosques y son el elemento florístico fundamental en los matorrales bajos y los pastizales (naturales e inducidos) que ocupan extensas áreas deforestadas, es de destacar ante todo su elevado número de especies. De acuerdo con las referencias presentadas por Sánchez (1980), se han reconocido en el área unos 300 géneros de herbáceas, la mayoría de los cuales se agrupan en cinco familias: las de las gramíneas, las leguminosas, las labiadas, las escrofulariáceas y las compuestas. En el cuadro 7.3 se presenta una lista de los géneros más representativos.

Entre las gramíneas son de destacar por su amplia distribución en los macizos y su trascendencia paisajística, al ser dominantes en numerosos pastizales de montaña, diversas especies de porte amacollado ("zacatones") correspondientes a los géneros *Agrostis*, *Stipa* y *Muhlenbergia*. alguna de ellas, *Muhlenbergia macroura*, tiene mayor adaptabilidad al medio, por lo que también forma parte de algunos pastizales inducidos de la rampa de enlace.

Plantas de estos mismos géneros, junto con otras especies de gramíneas (*Festuca spp.*, *Trisetum spp.*), rosáceas (*Acaena spp.*, *Alchemilla spp.*, *Potentilla spp.*), compuestas (*Cirsium spp.*, *Eupatorium spp.*, *Piqueria spp.*, *Stevia spp.*), campanuláceas (*Lobelia spp.*), cariofiláceas (*Cerastium spp.*), crasuláceas (*Echeveria spp.*), geraniáceas (*Geranium spp.*), umbelíferas (*Eryngium spp.*, *Tauschia spp.*), oxalidáceas (*Oxalis spp.*), escrofulariáceas (*Penstemon spp.*),

Fam.	Nombre científico	Fam.	Nombre científico
7	Acantácea	17	Juncácea
	<i>Adiantum andicola</i>	2	<i>Muhlenbergia macroura</i>
2	<i>Agrostis semiverticillata</i>	6	<i>Lamoureauxia multifida</i>
1	<i>Alchemilla procumbens</i>	6	<i>Lamoureauxia tenuifolia</i>
6	<i>Antirrhinum majus</i>		Liquen
2	<i>Aristida sp.</i>	12	<i>Lobelia laxiflora</i>
5	<i>Arracacia atropurpurea</i>	4	<i>Mentha canadensis</i>
2	<i>Avena fatua</i>	4	<i>Mentha spicata</i>
3	<i>Bidens ostruthioides</i>	6	<i>Mimulus glabratus</i>
3	<i>Bidens triplinervia</i>	2	<i>Muhlenbergia macroura</i>
2	<i>Bouteloua sp.</i>		Musgo
3	<i>Brickellia veronicaefolia</i>		<i>Parmelia subrudecta</i>
3	<i>Callistephus chinensis</i>	6	<i>Penstemon campanulatus</i>
9	<i>Cardiospermum halicabacum</i>	6	<i>Penstemon gentianoides</i>
6	<i>Castilleja arvensis</i>	15	<i>Phaseolus sp.</i>
6	<i>Castilleja schaffneri</i>	3	<i>Pinaropappus roseus</i>
6	<i>Castilleja tenuiflora</i>	2	<i>Poa annua</i>
3	<i>Cirsium ehrenbergii</i>	1	<i>Potentilla candicans</i>
3	<i>Cirsium jorullense</i>	1	<i>Potentilla heterophylla</i>
3	<i>Cirsium pinetorum</i>		<i>Pteridium aquilinum</i>
3	<i>Conyza sp.</i>	13	<i>Rumex sp.</i>
2	<i>Deschampsia pringlei</i>	4	<i>Salvia elegans</i>
6	Escrofulariácea	4	<i>Salvia fulgens</i>
5	<i>Eryngium columnare</i>	4	<i>Salvia hyptis</i>
5	<i>Eryngium ranunculoides</i>	3	<i>Selloa glutinosa</i>
3	<i>Eupatorium patzcuarensis</i>	3	<i>Senecio actinella</i>
3	<i>Eupatorium pycnocephalum</i>	2	<i>Setaria geniculata</i>
2	<i>Festuca amplissima</i>	6	<i>Sibthorpia pichinchensis</i>
2	<i>Festuca rosei</i>	8	<i>Smilax moranensis</i>
1	<i>Fragaria mexicana</i>	3	<i>Stevia monardaefolia</i>
10	<i>Galium praetermissum</i>	2	<i>Stipa ichu</i>
10	<i>Galium uncinatum</i>	3	<i>Tagetes lucida</i>
11	<i>Geranium mexicanum</i>	3	<i>Taraxacum officinale</i>
3	<i>Gnaphalium inortatum</i>	14	<i>Thelypodium pallidum</i>
3	<i>Gnaphalium oxyphyllum</i>	6	<i>Veronica americana</i>
3	<i>Hieracium mexicanum</i>	6	<i>Veronica peregrina</i>
2	<i>Hilaria cenchroides</i>	16	<i>Viola flagelliformis</i>

Fuente: Inventarios de vegetación

- | | | | |
|------------------|---------------------|-----------------|-------------------|
| 1. Rosáceas | 2. Gramíneas | 3. Compuestas | 4. Labiadas |
| 5. Umbelíferas | 6. Escrofulariáceas | 7. Acantáceas | 8. Liliáceas |
| 9. Sapindáceas | 10. Rubiáceas | 11. Geraniáceas | 12. Campanuláceas |
| 13. Polygonáceas | 14. Crucíferas | 15. Leguminosas | 16. Violáceas |
| 17. Juncáceas | | | |

Figura 7.3. Vegetación herbácea representativa.

labiadas (*Salvia spp.*) y violáceas (*Viola spp.*), constituyen lo fundamental de la flora subarbustiva y herbácea en los ambientes frescos o fríos y húmedos de las laderas montañosas y de los sectores más altos del piedemonte volcánico. A nivel de especie, destacan por su alta frecuencia en estos estratos de la vegetación de montaña las rosáceas, *Acaena elongata*, *Alchemilla procumbens* y *Potentilla candicans*, considerándose esta última característica e indicadora de los ambientes más específicos del bosque de abeto.

Según se desciende hacia las partes medias y bajas de la rampa y se entra en ambientes cada vez más templados y menos húmedos, los géneros citados son sustituidos por otros de gramíneas -como *Aristida*, *Bouteloua*, *Eragrostis* e *Hilaria*-, leguminosas -como *Dalea*- y onagráceas -como *Oenothera*-, que predominan con claridad en los pastizales existentes en estos sectores o constituyen la vegetación secundaria en los matorrales.

7.2. Los factores de la composición y la distribución de la cubierta vegetal.

7.2.1. La influencia de la ubicación del territorio.

La localización del territorio estudiado en la porción meridional del continente norteamericano es un aspecto muy significativo desde el punto de vista biogeográfico, toda vez que esta área ha sido reconocida como ámbito de convergencia entre las floras dominantes de Norteamérica (holártica) y Sudamérica (neotropical). En términos generales, puede decirse que la mitad sur de la República Mexicana presenta un *stock* florístico con mayor influencia sudamericana; sin embargo, pese a localizarse en ella, esta preeminencia de los taxones neotropicales no se da en la Sierra de las Cruces y Monte Alto. Debido a su altitud y a los caracteres de su orografía imperan en ella climas templados o fríos y húmedos, que hacen posible el desarrollo de una cubierta vegetal con amplias afinidades holárticas (fig. 7.3).

Las plantas de esta procedencia septentrional manifiestan un dominio evidente en la vegetación arbórea de la sierra: los *Abies*, los *Pinus* y gran parte de los *Quercus* provienen del occidente de Norteamérica. En cambio, los sotobosques tienen numerosos componentes afines con la flora sudamericana: este es el caso

de grandes arbustos, como el tepozán (*Buddleja lanceolata*) o matas, como el tomatillo (*Physalis acuminata*). Pero, tal vez, la característica más marcada del área -y la que le confiere mayor riqueza- es el elevado número de plantas endémicas (con área estrictamente limitada al centro de México) que en ella habitan; entre éstas merecen especial mención algunas especies de los géneros *Quercus* y *Opuntia*, así como el capulín (*Prunus capuli*) y el tejocote (*Crataegus mexicana*).

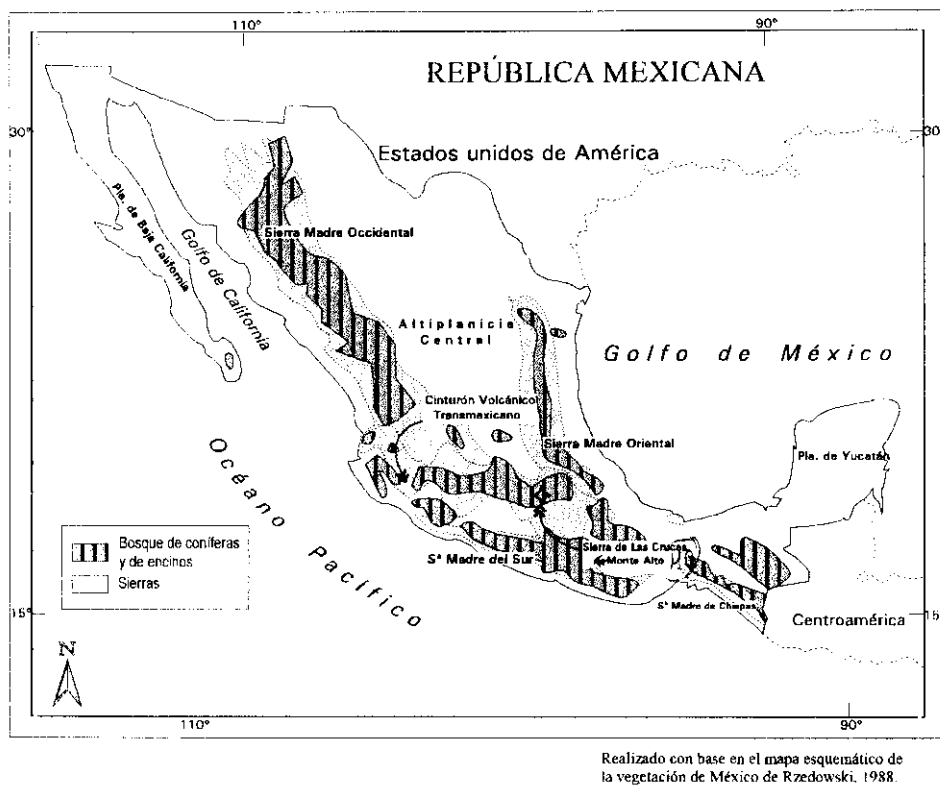


Figura 7.3. Distribución de los bosques de coníferas y encinos en México.

7.2.2. Las influencias morfoestructurales, climáticas, hidrológicas y geomorfológicas.

La organización morfoestructural y la estructura climática de la vertiente, altamente condicionada por ella, constituyen aspectos de gran importancia que influyen de modo muy significativo en la distribución de la vegetación. La influencia del clima es importante desde varios puntos de vista. Así, las

condiciones generales del clima -que es templado a frío y con una estación más lluviosa, aunque manteniéndose con aceptable humedad durante todo el ciclo anual- permiten el desarrollo de una vegetación propia de bosque templado, en la que la actividad vegetativa de los elementos arbóreos no se interrumpe prácticamente durante la totalidad del año, por lo que las formaciones forestales se mantienen siempre verdes, mientras que la de las plantas menores (arbustos y hierbas) se concentra en la temporada cálida. De otro lado, la disposición de los tipos climáticos a manera de franjas que se suceden según se asciende por la vertiente tiene una clara trascendencia en la vegetación, que -como se verá- se organiza en pisos.

Las características de las rocas y formaciones aflorantes, sobre todo las que hacen referencia a la cohesión del material y a la densidad de las fracturas que las afectan, son aspectos importantes dada la delgadez o incluso la inexistencia de suelo en amplios sectores del área. Esto hace que los elementos vegetales sean sensibles a la rocosidad y que las variaciones de ésta se traduzcan en la distribución de las especies y formaciones, pudiendo decirse que las plantas dominantes en todas ellas tienen siempre sistemas radiculares bien desarrollados.

Las condiciones favorables a la concentración del drenaje superficial y el afloramiento de caudales subterráneos que se dan en diversos sectores de la vertiente crean en ellos ambientes adecuados para las comunidades más exigentes de humedad, entre las que destacan los abetales. Estos sectores coinciden normalmente con áreas relativamente deprimidas, altamente afectadas por la fracturación y particularmente favorables a la edafogénesis y por ende al crecimiento de la vegetación arbórea.

Igualmente, el modelado de la vertiente afecta a la organización de la cubierta vegetal, sobre todo en el interior de los valles, barrancos y cárcavas, donde - como se dijo- los procesos externos son más activos e intensos: dentro de ellos es fácil apreciar que en los lugares donde las acciones gravitatorias o ligadas a la escorrentía mantienen un alto grado de inestabilidad el recubrimiento es escaso y simple, mientras que éste se hace más denso y rico allí donde la estabilidad geomorfológica es mayor. Sin embargo, estas laderas y cabeceras de valle modeladas por la erosión fluvial y la arroyada constituyen comúnmente nichos de mayor frescura y humedad, además de ámbitos de difícil acceso al hombre y

a sus actividades; por ello - pese a sus limitaciones geomorfológicas- suelen acoger las más importantes y valiosas masas de vegetación (como ocurre en las cuencas altas de los ríos Cuautitlán, La Magdalena y Santo Desierto), contrastando con las plataformas o lomas interfluviales o los sectores más tendidos de las laderas, cuya mayor estabilidad y accesibilidad han propiciado su roturación y su ocupación por actividades agropecuarias o residenciales.

7.2.3. Las influencias antrópicas y su desarrollo histórico.

Las modificaciones que el hombre ha causado en la vegetación de la vertiente oriental de la sierra de las Cruces y Monte Alto son importantes y complejas. Derivan la mayor parte de ellas de acciones que se pueden calificar de destructivas, entre las que -desde hace tiempo- la tala de los bosques y la roturación han desempeñado un papel fundamental; no obstante, también se han efectuado acciones tendentes a paliar o resolver los daños así producidos, como es el caso de las reforestaciones llevadas a cabo en los últimos tiempos. Dado que las actividades humanas han variado -tanto en sentido como en intensidad- a lo largo del tiempo y que sus efectos han sido distintos en cada momento, se han distinguido tres grandes etapas cuyas huellas se pueden reconocer en la vegetación actual de la sierra.

7.2.3.1. La etapa precolonial de escaso antropismo.

Comprende el tiempo histórico anterior a la conquista, en el que los bosques naturales cubrían la vertiente desde su base, a 2300 msnm, hasta prácticamente las cumbres de los macizos montañosos, a más de 3000 msnm. La presencia humana se limitaba entonces a pequeños asentamientos, de los que proceden los pueblos actuales (como Cuajimalpa, Chimalpa y Mixcoac). Según la información disponible, las actividades de estas poblaciones se centraban en torno a los citados asentamientos y consistían en la recolección de productos y en desmontes a pequeña escala. Era ya común obtener combustible de leña por medio del “ocoteo”, práctica que en la actualidad aún se realiza y que consiste en el rajado eventual de los troncos de los árboles de algunas especies resinosas de pino o encino, sin proceder a su tala. El aprovechamiento de la raíz de los zacatones

(gramíneas amacolladas de talla alta) para la elaboración de utensilios domésticos también se inicia en esta época, pero no es hasta las etapas más recientes cuando la explotación de estos pastos se amplía y generaliza -como alimento para el ganado y como materia prima para la fabricación de sillas, escobas etc.- y se introduce la práctica de incendios provocados para procurar su crecimiento.

Así pues, al producirse la ocupación colonial la vegetación del área estaba constituida por extensos bosques muy poco afectados por las actividades humanas y que mantenían una alta capacidad de regeneración.

7.2.3.2. La etapa de moderado antropismo: desde la conquista española hasta el primer tercio del siglo XX.

Esta larga etapa, que abarca el período histórico que va desde la conquista española hasta aproximadamente la cuarta década del presente siglo, se caracteriza por la progresiva y creciente roturación de los encinares, la cual conduce a su desaparición prácticamente total en los sectores más favorables por su topografía, su estabilidad y su accesibilidad, que son las plataformas y lomas del extenso piedemonte, y a su fragmentación en las laderas de algunos valles y barrancos. En los terrenos así sustraídos a la cubierta forestal originaria se establecieron áreas agrícolas, ganaderas y mineras y, en relación con ello, se abrieron vías de comunicación entre la capital y los crecientes centros de habitación y explotación del interior de la vertiente.

El desequilibrio natural que supone la eliminación de parte de la cubierta forestal, aunado a la menor capacidad de la nueva vegetación -herbácea y arbustiva- para contener la escorrentía, fué activando los procesos de modelado natural en los bordes de las lomas y plataformas y los intensificó en los valles. Consecuencia evidente de ello es la aparición y la continua expansión de la red de cárcavas y barrancos que aún continúa siendo uno de los aspectos más problemáticos de la dinámica de la vertiente y cuyas consecuencias son negativas para la propia conservación de la vegetación, además de implicar graves riesgos para el hombre.

La apreciación de estas negativas consecuencias de la destrucción de los bosques y la puesta en cultivo se produce ya a finales de esta etapa, en las primeras décadas del siglo XX, llevándose a cabo entonces las primeras reforestaciones y declaraciones de espacios protegidos (en el área del Desierto de los Leones). En relación con ello -y con las ya consolidadas actividades agropecuarias- nuevos elementos se incorporan a la flora del área, algunos de los cuales se han integrado en la vegetación silvestre.

7.2.3.3. La etapa de intenso antropismo: la expansión urbana a partir de 1940.

En esta tercera etapa es, sin duda, cuando se han producido las mayores transformaciones en la cubierta vegetal de la sierra. Ello se debe a que las acciones antrópicas son realizada ya por una sociedad tecnológicamente más avanzada, y por ende con más capacidad de intervención sobre el medio, y se relacionan con la urbanización, que es el proceso con máxima intensidad de impacto. En las últimas cinco décadas, la expansión de la mancha urbana de la ciudad de México ha dado lugar -como se ha dicho- a la ocupación de amplios espacios del área por unidades habitacionales y de servicios, infraestructuras, instalaciones industriales, etc., lo que implica no sólo la destrucción sistemática de la vegetación forestal, sino también la ocupación de los matorrales, pastizales y cultivos que los habían sustituido.

Las deforestaciones afectan ahora tanto a las lomas y plataformas interfluviales como al interior de los valles y barrancos de la rampa; sólo algunos de éstos -los de más difícil acceso al hombre- se salvan de ellas, convirtiéndose en nichos de gran importancia ecológica donde se mantienen pequeños bosquetes vestigios de la antigua cubierta forestal. Al tiempo, los pueblos y las áreas agrícolas que ocupaban las partes bajas de la sierra han sido y están siendo urbanizados y las áreas de labor más cercanas al borde de la ciudad en expansión se encuentran abandonadas y aparecen recubiertas por formaciones de pastos inducidos o por matorrales muy degradados, lo que representa una pérdida enorme en la riqueza florística del área. Como consecuencia de todo ello las actividades agropecuarias van siendo gradualmente desplazadas hacia los extremos más altos de la rampa de enlace y comienzan a ocupar también las laderas montañosas, donde los

bosques aún se conservaban con cierta amplitud y en buen estado. Los desmontes que con escaso control se efectúan en estos elevados sectores son ahora un grave problema y suponen un enorme riesgo ecológico, ya que afectan a comunidades forestales donde predominan las coníferas que son más sensibles y frágiles que los encinares.

Así pues, los cambios que el hombre ha provocado en los últimos tiempos, y provoca hoy, en la vegetación son directos -mediante la eliminación por tala de formaciones forestales y la ocupación por instalaciones urbanas de matorrales, pastizales y cultivos-, pero también indirectos, ya que la eliminación de estos tipos de cubierta biótica supone alteraciones en todo el sistema natural. Debido a ellos se ha alterado la topografía local y el sistema hidrológico, como consecuencia de lo cual el modelado de las laderas ha incrementado su intensidad y su ritmo, poniendo en riesgo la conservación de los bosques aún existentes en algunos valles, como el del río Borracho, y en las barrancas al sur del río Hondo.

También ciertas afecciones naturales que dañaban la cubierta vegetal han sido incrementadas por la actividad humana; este es el caso de los incendios forestales y las plagas. La intensificación de estas últimas en los bosques de la sierra es un fenómeno evidente, cuya relación con la contaminación atmosférica por compuestos químicos de procedencia urbana e industrial parece clara: estos compuestos tiene el efecto de debilitar a los árboles -en especial a los abetos y los pinos- y de hacerlos por tanto más susceptibles al ataque de las plagas, sobre todo de las de insectos descortezadores. Dado que los vientos predominantes provienen del noreste el acceso de aire cargado de contaminantes generados en la capital tiene una frecuencia muy elevada, siendo el área más afectada el conjunto de las laderas montañosas del macizo meridional de San Miguel y la parte superior del piedemonte que se extiende a sus pies.

Por lo que se refiere a los incendios, cuyo número se ha incrementado con el avance de la urbanización, su principal causa es el descontrol con que se realizan las quemas con fines agrícolas o ganaderos y las actividades recreativas o turísticas. Ciertamente, las áreas más afectadas son los bosques más frecuentados por el turismo o que colindan con áreas de labor, las laderas altas

de solana y algunos pinares con sotobosques ricos en gramíneas que están secas durante el invierno.

7.2.3.4. La vegetación inducida e introducida.

Como ya se mencionó, el hombre, además de producir los trastornos en la vegetación natural a que se acaba de hacer referencia, ha colaborado en la aparición de nuevas formas de recubrimiento vegetal al favorecer (voluntaria o involuntariamente) a determinadas especies ya existentes en el área o al introducir en ella especies foráneas. Han aparecido así formaciones inducidas e introducidas, que tienen en la actualidad una indudable trascendencia en el paisaje de la sierra.

La vegetación inducida crece de forma espontánea en los sectores que, tras perder su cubierta forestal y haber sufrido una intensa alteración ecológica, no han conseguido regenerar comunidades tendentes a una recuperación viable de la situación original. También se desarrolla en los entornos de las áreas de labor abandonadas y en los suburbios de la capital, en bordes de caminos, basureros, barrancos contaminados y, en general, en los sitios más descuidados aunque frecuentados por el hombre. Destacan en ella las herbáceas ruderales resistentes a la acidez del suelo y a la falta de nutrientes y de agua, siendo características diversas especies correspondientes a géneros poco frecuentes en las formaciones naturales, como *Poa* y *Sporobolus* (gramíneas), *Cosmos*, *Gnaphalium*, *Stevia* y *Taraxacum* (compuestas), *Bacopa* y *Castilleja* (escrofulariáceas), *Phaseolus* (leguminosas) y *Solanum* (solanáceas) o incluso a familias con presencia muy limitada en cualquier otro tipo de ámbitos, como *Chenopodium* spp. (chenopodiáceas), *Lepidium* spp. (crucíferas), *Microsechium* spp. (cucurbitáceas), *Mirabilis* spp. (nictigranáceas), *Oenothera* spp. (onagráceas), *Oxalis* spp. (oxalidáceas) y *Phytolacca* spp. (fitoláceas). Por lo que se refiere a las plantas arvenses, son muy numerosas y dependen de los productos que se siembren o se hayan sembrado en cada lugar. No obstante, los géneros más frecuentes son *Bouteloua*, *Brassica*, *Castilleja*, *Crotalaria*, *Cyperus*, *Galinsoga*, *Ipomea*, *Melampodium*, *Oenothera*, *Piqueria*, *Polygonum*, *Rumex*, *Scyros*, *Stachys*, *Tagetes*, *Tithonia* y *Tradescantia*.

Las plantas introducidas en la vertiente son especies de procedencia externa que han sido traídas por el hombre para su cultivo o para acciones de repoblación. Entre los cultivos destacan el nopal (*Opuntia ficus-indica*), el frijol (*Phaseolus spp.*), el maíz (*Zea mays*) y la calabaza (*Cucurbita mexicana*), traídos de las tierras centrales del país, así como el trigo, la avena y el centeno traídos de Europa durante la colonia española, junto con la patata procedente de América del sur. Entre las plantas introducidas para la repoblación forestal se encuentran sobre todo coníferas originarias de otras partes del país y latifoliadas importadas de Australia.

Las reforestaciones con coníferas, realizada sobre todo con *Pinus patula*, han tenido la finalidad de mejorar el estado de algunos bosques alterados y de cumplir una función paisajística o escénica, particularmente en el interior del Parque Nacional Desierto de los Leones y en otras áreas recreativas. Las latifoliadas, fundamentalmente *Eucaliptus globulus*, se utilizaron también con fines paisajísticos, aunque su introducción se ha ido centrando en su uso como elemento de protección contra la erosión en crestas, lomas y laderas inestables de valles y barrancos. Estas repoblaciones en unos casos han tenido un éxito o han quedado limitadas a los terrenos directamente plantados, mientras que en otros las especies arbóreas introducidas han logrado adaptarse a las condiciones ambientales (o las han transformado) y se han reproducido de forma natural, adoptando en ocasiones el papel de competidoras frente a otras especies nativas. Este es el caso del pirul (*Schinus molle*), árbol suramericano de introducción antigua en el área que -como se dijo- se ha difundido ampliamente en ella por medios estrictamente naturales.

7.3. Las formaciones vegetales.

Como resultado de la incidencia a lo largo del tiempo de todos los factores indicados, en la vegetación de la vertiente oriental de la sierra de las Cruces y Monte Alto se distinguen hoy doce formaciones fundamentales, de las cuales las más significativas y valiosas por su riqueza florística son los bosques de *Abies religiosa*, *Pinus spp.* y *Quercus spp.*, seguidos a por los bosques de *Alnus firmifolia*, *Cupressus Lindleyi* y *Garrya laurifolia*. Estas ricas formaciones forestales han visto sustancialmente reducida su superficie, ocupando en la

actualidad sólo una tercera parte del total del área. Los dos tercios restantes son dominio de las formaciones de matorral y pastizal, corresponden a áreas roturadas -puestas en cultivo o sin uso aparente- o han sido absorbidas por los usos urbanos (fig. 7.4).

7.3.1. El bosque de *Pinus Hartwegii*.

La característica que mejor define esta formación es el dominio absoluto que en ella se registra de una sola especie arbórea, el *Pinus Hartwegii*, lo cual es muy poco frecuente en la sierra. Los ejemplares de este pino de alta montaña pueden constituir por sí solos bosques altos y densos, aunque en la mayor parte de los casos presentan mediana densidad o son abiertos (apareciendo en este caso pies jóvenes de menor tamaño bajo los grandes pinos). El sotobosque suele ser escueto, con una casi total carencia del estrato arbustivo, que está formado -cuando existe- por algunas compuestas, entre las que destacan las escobillas (*Baccharis conferta*). Los estratos inferiores, por su parte, están dominados por las gramíneas amacolladas de talla alta (*Muhlenbergia macroura*, *Stipa ichu*), con las que conviven algunas rosáceas.

Estos pinares puros tienen una distribución muy restringida y condicionada por factores climáticos: se localizan sólo en ambientes muy fríos, ventosos y abiertos de los macizos montañosos de Catedral y San Miguel, situados en en sus sectores culminantes por arriba de la cota 3400 msnm (en el macizo Las Cruces -de menor altitud- no se encuentran nada más que en algunos enclaves de la cuenca alta del río Tlalnepantla). Y todo indica que su presencia deriva de que el *Pinus Hartwegii* tiene menores requerimientos en cuanto a temperatura que el resto de las especies arbóreas, pudiendo soportar durante el invierno medias mensuales inferiores a los 10° y un altísimo número de heladas nocturnas, y de que también está dotado para resistir la fuerza y el efecto desecante de los vientos que en las áreas de cumbre soplan durante todo el año.

7.3.2. El bosque de oyamel (*Abies religiosa*).

Es una formación a la que se puede denominar abetal porque en su estrato arbóreo el *Abies religiosa* es la especie que domina e imprime carácter, aunque raramente se encuentra totalmente sola; lo más común es que dentro de dicho estrato estén presentes otros árboles de menor talla, como pinos, encinos, madroños, olmos, cuachichies, etc. Presenta así, ya en el estrato superior, una riqueza florística apreciable, que contrasta con la simplicidad del pinar cacuminal a que se acaba de hacer referencia y que se acrecienta en los niveles de sotobosque. Su estructura interna es compleja e incluye densos estratos de arbolillos, arbustos, matas y hierbas, que se enriquecen sobre todo durante la primavera y el verano. Entre las plantas de talla arborescente o arbustiva son particularmente representativas las pertenecientes a los géneros *Senecio*, *Eupatorium*, *Stevia* y *Archibaccharis*, siendo también de destacar la presencia de un enebro, *Juniperus monticola*. Son numerosas las hierbas de la familia de las compuestas, encontrándose además una amplia representación de musgos hongos y líquenes, así como de epífitas y bromeliáceas, comunes en el follaje.

Los abetos u oyameles que dan su carácter a este bosque son quizá los elemento arbóreos más exigente de cuantos habitan en el área. Son poco tolerantes a la falta de humedad y al frío extremo, que bien soporta el *Pinus Hartwegii*, y por ello el abetal se acoge en áreas de clima frío o fresco y muy lluvioso de todos los macizos montañosos, con un rango térmico medio anual de entre 10° y 14°C y con precipitaciones anuales de 1300 mm o más. También son susceptibles al embate mecánico del viento, por lo que conforman agrupaciones densas y resguardadas que prefieren el interior de los “abrigos climáticos” que se forman en los valles y cabeceras del área de montaña. Así, entre los abetales de mayor dimensión están los que se acogen en las cuencas altas de los ríos Las Palomas, Borracho, Santo Desierto y La Magdalena. En estas últimas, situadas en el macizo meridional de San Miguel, se aprecia la notable vulnerabilidad que estas formaciones forestales manifiestan también a la contaminación atmosférica: en ellas la densidad ha disminuido y la mayor parte de los oyameles están sucios y plagados, con graves daños en el follaje.

Puede decirse, pues, que el abetal es la formación más rica y valiosa de cuantas se conservan en la sierra, pero también una de las más exigentes y frágiles por lo que presenta un alto riesgo de degradación.

7.3.3. Los bosques mixtos de oyamel y pinos.

Más frecuente que su papel de árbol dominante, es la asociación aproximadamente equilibrada de *Abies religiosa* con alguna de las variedades de pinos existentes en la sierra, sobre todo con el ya citado *Pinus Hartwegii*, con *Pinus Montezumae*, *Pinus leiophylla*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote* (generalmente por separado con cada uno de ellos). Se constituye así bosques mixtos, con sotobosque menos denso y más simple que el de los abetales, pero con una gran riqueza florística en el estrato herbáceo, compuesto principalmente por gramíneas y compuestas. En ellos son abundantes y variados también los hongos (sobre todo los del grupo de los poliporáceos), los musgos, los líquenes, las trepadoras y las epífitas. Se distribuyen ampliamente en los macizos montañosos de Catedral y Las Cruces, bajo ambientes climáticos frescos o fríos y lluviosos -y sobre suelos carentes de deficiencias de drenaje (Rzedovski, 1988)-, presentando variaciones de fisionomía, composición y estructura según los caracteres concretos del medio en cada sector. Con base en ellas se distinguen dos tipos o variantes.

La primera de estas variantes -poco común en el área- se caracteriza por la combinación de *Abies religiosa* con *Pinus Hartwegii* y representa la transición entre el mundo de vegetal las cimas y el de las laderas montañosas. Se encuentra a altitudes entre 3200 y 3400 msnm) en los macizos montañosos Catedral y San Miguel, donde las condiciones climáticas son frías, con temperaturas medias mensuales siempre inferiores a 10°, y húmedas, con pluviosidad cercana a 1300 mm anuales.

La segunda variante ocupa una superficie notablemente más extensa, sobre todo en laderas montañosas menos elevadas (de 2900 a 3200 msnm), en las que las temperaturas medias mensuales se sitúan ya entre 10° y 14° dentro de un ambiente que mantiene un alto nivel de humedad. Ello ocasiona la desaparición del *Pinus Hartwegii* y la entrada de otras especies de pino como codominantes

con el *Abies religiosa*. En el macizo Catedral este papel lo desempeñan *Pinus Leiophyla* y *Pinus Montezumae*, mientras que en los macizos de Las Cruces y San Miguel lo hacen *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote*. El área de este tipo de pinar-abetal se prolonga a veces por la rampa de enlace, donde ocupa nichos particularmente húmedos y resguardados de la insolación y del viento en el interior de los valles y barrancos, diferenciándose como agrupaciones densas de árboles con apretados sotobosques -ricos en epífitas trepadoras y hongos- que cubren el suelo por completo.

7.3.4. Los bosques de encinos.

Los encinares ocupan una extensión importante en la sierra de las Cruces y Monte Alto y presentan una amplia variedad fisionómica y florística, que se explica por los diversos ambientes en los que se presenta. Comúnmente en ellos existen de dos a cuatro especies codominantes del género *Quercus*, siendo las más frecuentes *Quercus crassipes*, *Quercus lanceolata*, *Quercus laurina*, ***Quercus mexicana*** y ***Quercus rugosa***. Se presentan como formaciones relativamente altas -de 15 a 20 m, aunque en ocasiones no superan 10 m- y densas -con uno o dos estratos arbóreos-, en cuya composición son frecuentes los elementos de talla arborescente (tejocotes, capulines, cuauchichies, senecios y tepozanes). Su distribución es amplia y prácticamente se encuentran en toda la vertiente por debajo de los 3200 msnm, siendo vulnerables a los ambientes fríos con temperaturas mensuales inferiores a 10°; por ello ocupan áreas de clima fresco o templado -con temperaturas medias mensuales superiores a 12°C- y precipitaciones moderadas -entre 800 y 1300 mm anuales- y son los únicos que perviven en la parte inferior de la rampa de piedemonte. Tomando en consideración las variaciones en la composición florística inducidas por la diversidad de ambientes en que se encuentran, se pueden distinguir en el área de estudio tres tipos de encinares puros, cuya distribución corresponde con las grandes unidades del relieve.

Los encinares de los relieves montañosos -mejor conservados, aunque poco extensos- se caracterizan por su rica flora y por la presencia de hasta cuatro especies de encino codominantes, encontrándose las manchas más extensas en las laderas del macizo de Las Cruces (donde destacan las que cubren a los cerros

Dos Ríos y Tengani). Los encinares del piedemonte superior, por su parte, presentan una riqueza florística similar a los anteriores, pero muestran un apreciable grado de alteración antrópica, ocupando en la mayoría de los casos laderas de fuerte pendiente -del interior de valles fluviales y barrancos- y de difícil acceso al hombre; salvo en la rampa Norte, al pie del macizo Catedral, donde están mejor conservados, sus sotobosques han sufrido graves daños debidos a la contaminación, el sobrepisoteo, los movimientos de tierra, etc. Finalmente, los encinares del piedemonte inferior, adaptados a condiciones de mayor sequedad ambiental, se caracterizan por su menor talla (menos de 10 m) y por la presencia en el estrato arbóreo de encinos de hoja pequeña propios de ambientes xéricos, como *Quercus texcocana* y *Quercus microphylla*; otra característica que los define es su menor riqueza florística y su muy escaso sotobosque, pudiendo decirse que son los únicos bosques abiertos de frondosas que se presentan en la vertiente.

7.3.5. Los bosque mixtos de oyamel, pinos y encinos.

Las formaciones que incluyen a los tres elementos arbóreos fundamentales (abeto, pinos y encinos) como codominantes son poco frecuentes en la sierra, aunque pueden encontrarse en diversos enclaves situados en la parte alta de la rampa y en los sectores inferiores de las laderas montañosas, entre los 2500 y los 3200 msnm. Se trata de bosques densos y altos, en los que posiblemente se registra la mayor riqueza florística del área debido a que contienen plantas que acompañan a los tres árboles citados. Suelen tener hasta tres estratos superiores, siendo abetos (*Abies religiosa*) y pinos (*Pinus leiophylla*) los que forman el arbóreo superior, pinos (*Pinus Montezumae*) y encinos (*Quercus crassipes* y *Quercus rugosa*) el arbóreo inferior y encinos (*Quercus mexicana* y *Quercus laurina*) los que dominan en el arborescente; bajo ellos, el sotobosque es también denso y está constituido principalmente por compuestas y gramíneas.

Aunque tienen una notable amplitud ecológica, estas formaciones forestales muestran claras preferencias por los ambientes frescos, de entre 12° y 14° de media anual, y lluviosos, con precipitaciones anuales superiores a 800-1000 mm. Se desarrollan favorablemente sobre laderas montañosas de gran desnivel orientadas en umbría (como ocurre en el cerro Texcané y en el Desierto de los

Leones), lo mismo que en el interior de grandes valles fluviales de la rampa norte (como en los tramos altos de las cuencas de los ríos Cuautitlán, Santa Ana y Xinté).

7.3.6. El bosque mixto de oyamel, encinos y *Garrya laurifolia*.

Esta formación forestal mixta tiene cierto parecido con la anterior, pero se diferencia de ella por la amplia presencia del cuauchichie (*Garrya laurifolia*), especie arborecente de aspecto parecido al laurel que sólo abunda en ambientes muy específicos dentro de la vertiente, coincidiendo con los enclaves de máxima pluviosidad (entre 2800 y 3100 mm de media anual). Puede definirse como un bosque denso con un estrato arbóreo superior formado sólo por oyameles y unos estratos arbóreo inferior y arborecente dominados por el cuauchichie y diversos encinos (*Quercus mexicana*, *Quercus castanea* y *Quercus laurina*); en el umbroso sotobosque -muy parecido al de las "laurisilvas"- se pueden encontrar algunos arbustos y hierbas de la familia de las compuestas, aunque con frecuencia faltan encontrándose el suelo cubierto por una densa capa de hojarasca mal descompuesta. Aparece normalmente dentro del área de los abetales de montaña, ocupando sectores de ladera particularmente húmedos de los macizos Catedral y San Miguel.

7.3.7. El bosque de aile (*Alnus spp.*).

Es un tipo de bosque poco difundido en la sierra de las Cruces y Monte Alto pero a la vez muy notorio durante el invierno, ya que es la única formación existente en ella en la que dominan árboles caducifolios, los ailes. Corresponden éstos al género *Alnus*, siendo *Alnus firmifolia* el más abundante, aunque pueden presentarse otras como *Alnus acuminata* y *Alnus jorullensis*. Bajo un único estrato arbóreo constituido por estas betuláceas, el sotobosque es denso y está formado principalmente por arbustos de la familia de las compuestas, predominando en el estrato herbáceo las compuestas, las gramíneas, las rosáceas y las geraniáceas.

Las preferencias ecológicas de estos bosques de hoja caduca -a los que en el lenguaje común se suele denominar "olmeras"- están bien definidas y se deducen fácilmente de su localización, ya que aparecen sólo en laderas empinadas y bien aireadas próximas a las cimas montañosas (en torno a 3400 msnm), donde se intercalan con los abetales. En dichas laderas, donde las temperaturas medias anuales pueden acercarse a los 10° y las precipitaciones son abundantes -aunque inferiores a 1300 mm- constituyen enclaves no muy extensos y bien delimitados, que se pueden observar en los macizos montañosos Catedral y Las Cruces, siendo en éste último donde se alcanzan mayor extensión (fig. 7.4).

7.3.8. Los bosques de coníferas de repoblación.

En la sierra se han efectuado diversas reforestaciones con coníferas, para las que se han usado tanto especies nativas como de procedencia externa. Todas ellas son pináceas y pertenecen a los géneros *Abies*, *Pinus* y *Cupressus*, habiendo pasado alguna de las introducidas a formar parte de la vegetación espontánea.

En el área de los bosques mixtos de abetos, pinos y encinos las especies que se han utilizado con cierta representatividad son *Abies religiosa*, nativa, y *Pinus patula*, de procedencia externa. La mayor superficie reforestada con ellas se localiza en el interior del Parque Nacional Desierto de los Leones, donde *P. patula*, que se introdujo con fines de restauración ecológica y paisajística, no ha tenido demasiado éxito debido a la presión del turismo; por el contrario en las repoblaciones de *A. religiosa* se observan buenos resultados. Estos bosques de repoblación suelen ser densos y altos y estar constituidos por varios estratos arbóreos, de los cuales el mayor destaca por la igualdad en la talla de los individuos. Sus sotobosques son también densos y presentan una amplia variedad de arbustos pertenecientes a las familias de las compuestas, saxifragáceas y loganiáceas, además de numerosas herbáceas entre las que predominan las escrofulariáceas, las umbelíferas, y las rosáceas.

Por su parte, las repoblaciones con cipreses (*Cupressus Lindleyi*) han consistido en la creación de bosquetes monoespecíficos en la parte media o inferior de la rampa. Son siempre de pequeña extensión y solamente uno de ellos -que se encuentra a las orillas del pueblo de San Luis Ayucan- es cartografiable a la

escala de trabajo. Este enclave forestal tiene dos estratos arbóreos, dominado el más alto por los cipreses y el inferior por elementos nativos como capulines y encinos; su sotobosque es poco denso aunque variado, con representación de las compuestas, las loganiáceas y las solanáceas entre los arbustos y predominio de las labiadas y las compuestas, entre las herbáceas. Parece que el fracaso o el escaso desarrollo de las restantes plantaciones de cipreses -realizadas con la finalidad de dotar de ambientes escénicos favorables a los nuevos núcleos habitacionales- tiene como causa la relativamente escasa humedad (para las exigencias de esta especie) que se registra como norma general en la parte baja del piedemonte, dentro de la cual el entorno de San Luis Ayucan se diferencia como un enclave particularmente lluvioso (1000-1200 mm de pluviosidad media anual, con 13-14° de temperatura media).

7.3.9. Los bosques introducidos de *Eucaliptus*.

En laderas donde se ha producido una fuerte alteración del medio y comúnmente se registra una intensa pérdida de suelo por acciones erosivas se han llevado a cabo reforestaciones con especies latifoliadas resistentes y de rápido crecimiento, en concreto con *Eucaliptus* procedentes de Australia. Pertenecen éstos en su práctica totalidad a la especie *Eucaliptus globulus*, aunque también tiene alguna representación *Eucaliptus resinifera*. Con ellos se han creado bosquetes bastante comunes en las porciones central y meridional del piedemonte inferior, cuya diferencia más marcada con las anteriores es su notoria pobreza florística, que se explica, no solo por las características empobrecidas del medio, sino también por el daño que provocan al suelo estas especies introducidas. Es conocido el incremento de la acidez edáfica causado por el eucalipto y la escasez de sus aportes de materia orgánica, como consecuencia de lo cual los sotobosques son escuetos y en ocasiones inexistentes, estando dominados por gramíneas bajas y algunas compuestas que pueden tener talla arbustiva, como las pertenecientes al género *Eupatorium*.

7.3.10. Las formaciones de matorral.

Los matorrales han estado integrados por naturaleza en el ámbito de los bosques, teniendo gran importancia como fases temporales en la evolución de éstos. Sin embargo, durante las últimas etapas en que la influencia humana en el área se ha visto fuertemente incrementada, su extensión y su duración se han ampliado de forma desmedida. Debido a ello estas formaciones de media o baja talla -a veces salpicadas de árboles o arbolillos- han pasado a formar parte de los elementos permanentes del paisaje vegetal de la sierra, al tiempo que su fisionomía y su composición florística han variado, combinando en cada caso rasgos del ámbito forestal originario y caracteres derivados del tipo y grado de antropización. No obstante, en función de las especies dominantes se distinguen dos tipos de matorral: el húmedo y el subhúmedo.

En los matorrales de tipo húmedo las plantas dominantes pertenecen principalmente a los géneros *Baccharis*, *Buddleja*, *Eupatorium*, *Ribes*, *Senecio* y *Verbesina*, siendo la escobilla (*Baccharis conferta*), el hilo (*Eupatorium glabratum*), la jarilla (*Senecio salignus*), el romerillo (*Verbesina virgata*) y los tepozanes (*Buddleja cordata* y *Buddleja lanceolata*) las especies más frecuentes. En el estrato herbáceo, que puede ser denso y cubrir el suelo por completo, predominan los elementos gramínoideos y, dependiendo de la ubicación, se presentan otros propios de los bosques cercanos, principalmente rosáceas (que son muy comunes en los matorrales próximos a bosques de coníferas). Aunque algunos de estos matorrales húmedos tienen un origen natural, la mayoría son resultado de acciones realizadas o facilitadas por el hombre. Tienen preferencia por los climas frescos o fríos y húmedos (con temperatura media inferior a 15° y precipitaciones de, por lo menos, 900 mm anuales) del piedemonte superior y las laderas montañosas, donde se desarrollan en los aclarados de bosques de coníferas o mixtos y en el entorno de los pueblos y áreas de labor.

Por su parte, los matorrales subhúmedos se caracterizan por incluir elementos propios de ambientes afectados por una cierta sequedad, como los nopales (*Opuntia spp.*), la mimosa (*Mimosa acanthocarpa*), la uña de gato (*Mimosa biuncifera*), el mezquite (*Prosopis juliflora*), la biznaga (*Mammillaria magnimamma*) y el huizache (*Caesalpinia cacalaco*), además de otros arbustos propios de ambientes alterados como los tepozanes, el hilo, la jarilla y la retama.

Tienen un estrato herbáceo compuesto principalmente por elementos graminoides, más bien discontinuo y de tonos amarillentos durante el invierno, y en algunos casos están salpicados por individuos dispersos de pirul (*Schinus molle*) o de encinos casi siempre de talla baja y hojas pequeñas y gruesas (*Quercus texcocana*, *Quercus microphylla*). Se distribuyen en un área extensa del piedemonte inferior, al norte del río de Los Remedios, donde el clima es templado y con precipitaciones que por lo general no superan los 900 mmm, presentando en todos los casos un alto grado de antropización y deterioro.

7.3.11. Las formaciones de pastizal (zacatales y zacatonales).

Los pastizales existentes en el área de estudio son de varias clases y muestran diferentes fisonomías según el tamaño de las plantas dominantes. Se distinguen así dos tipos: el zacatal y el zacatonal. Mientras que en el primero predominan las gramíneas de talla baja, conocidas comúnmente como zacates, en el segundo son dominantes las gramíneas altas y fasciculares ("amacolladas"), a las que se denomina zacatones. Y se da la circunstancia de que los zacatales tienen un origen y un mantenimiento prioritariamente antrópico, en tanto que la mayor parte de los zacatonales son de origen más relacionado con procesos naturales.

Estas formaciones compuestas por altas gramíneas amacolladas, entre las que sobresalen por su abundancia *Muhlenbergia macroura*, *Stipa ichu* y varias especies de los géneros *Festuca* y *Calamagrostis*, están comúnmente asociados con pinares y abetales o con bosques mixtos de coníferas y encino, por lo que es muy frecuente la presencia en ellas de individuos dispersos correspondientes a las especies arbóreas que los caracterizan. Junto con las gramíneas citadas tienen amplia difusión algunas rosáceas, como *Potentilla candicans* (característica también de los abetales), que crecen favorablemente bajo los zacatones en terrenos deprimidos con drenaje deficiente. Los zacatonales ocupan claros de bosque en las laderas y altos valles de los macizos montañosos (sobre los 3000 msnm), bajo régimen climático frío o muy frío y húmedo, y, a pesar de su ya indicado origen natural, su permanencia y extensión es favorecida por las actividades agropecuarias y por incendios intencionados.

Los zacatales, por su parte, son pastizales inducidos por el antropismo que se componen casi exclusivamente por plantas gramíneas de pequeño tamaño (pertenecientes a los géneros *Andropogon*, *Aristida*, *Avena*, *Bouteloua*, *Deschampsia*, *Festuca*, *Hilaria* y *Trisetum*), incluyendo a veces algunos zacatones dispersos además de numerosas herbáceas asociadas a la vegetación arvense y ruderal. Pueden estar salpicados también de elementos de talla arbustiva o arborescente, entre los que destacan algunos encinos tolerantes a la escasez de humedad (como *Quercus castanea*, *Quercus centralis* y *Quercus laeta*), las escobillas (*Baccharis spp.*), el romerillo (*Verbesina virgata*) y algunos senecios (*Senecio spp.*), así como de otras especies afines introducidas, como el maguey (*Agave ferox*), el pirul y el eucalipto. Su área de distribución se centra en el piedemonte y en las elevaciones menores, bajo ambientes climáticos frescos y húmedos o templados y subhúmedos, ocupando terrenos deforestados y sin un uso aparente. Los zacatales más extensos se encuentran al norte del río Hondo, sobre las laderas tendidas y de solana de los valles asimétricos.

7.3.12. Los cultivos.

Una parte importante de la vertiente permanece aún ocupada por campos de cultivo, los cuales, según el tiempo que las plantas cultivadas permanecen en el terreno, pueden ser anuales o permanentes. Los primeros se dan cuando el ciclo vegetativo de estas plantas no dura más de un año y se practica la rotación de productos. Los segundos corresponden a plantaciones cuya permanencia es de varios años, generalmente más de diez (INEGI, 1990).

Los cultivos anuales se dedican a la producción de maíz, frijol, avena forrajera, cebada y hortalizas (patata, calabaza, haba y nabo) y ocupan la gran mayoría de las áreas agrícolas de la parte alta de la rampa y de las vertientes montañosas. Su distribución no manifiesta una influencia marcada del ambiente climático, pero sí se observa un claro control topográfico, que limita los rendimientos en las laderas de fuerte pendiente del interior de valles y barrancos.

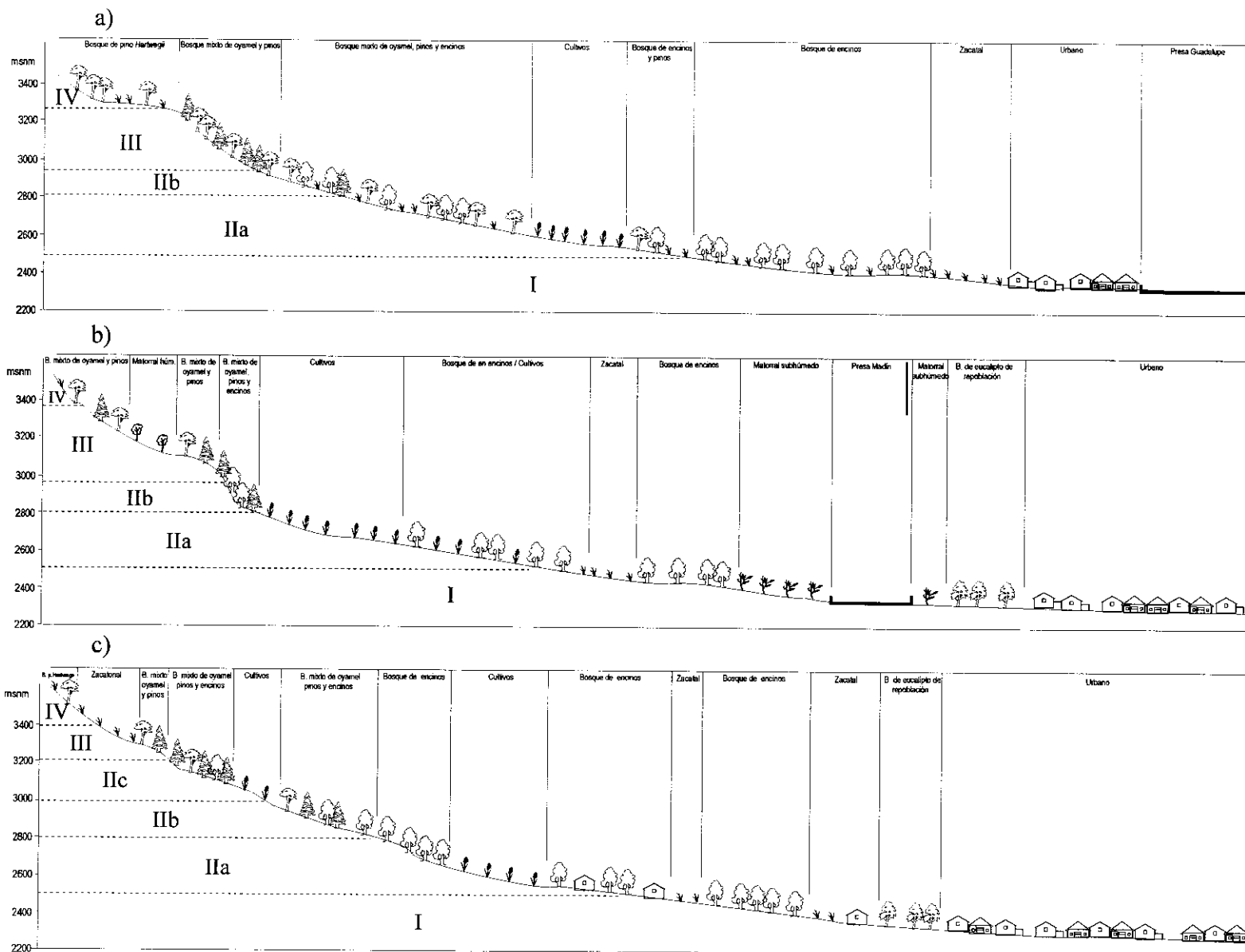
Los cultivos permanentes se encuentran, por lo general, en las laderas bajas de la rampa, en huertas cercanas a los poblados o en los suburbios del área urbana, donde se cultivan alfalfa, nopal, maguey, aguacate y peral.

7.4. Los pisos de vegetación

Desde el punto de vista fitoecológico la cubierta vegetal de la vertiente, compuesta por las formaciones que se acaban de describir, se organiza en pisos, los cuales no pueden ser vistos hoy como un producto exclusivo de los factores naturales, toda vez que los cambios antropógenos -más intensos por debajo de la cota de 3000 msnm- se han traducido en una sistemática sustitución de los bosques originarios por otras formaciones o modalidades de ocupación. Teniendo en cuenta la distribución de las comunidades potenciales, claramente influida por la estructura topoclimática, y de las franjas de antropización, definidas por la mayor o menor proximidad a la mancha urbana de Ciudad de México, se han distinguido cuatro pisos fundamentales, a los que -de forma convencional y con un significado puramente regional- se han denominado "piso pedemontano", "piso de transición", "piso montano" y "piso cacuminal".

7.4.1. El piso pedemontano.

Este piso de vegetación corresponde básicamente con el área donde los bosques densos de encinos son la única vegetación potencial, lo cual ocurre sólo en la porción de la rampa que se extiende por debajo de los 2500 msnm coincidiendo con la franja más afectada por las acciones antrópicas. En él las condiciones térmicas son templadas, con temperatura media anual superior a 15° y temperaturas medias de los meses más cálidos superiores a 18° y se combinan con los volúmenes pluviométricos más bajos de la vertiente, con menos de 900 mm anuales y menos de 150 mm por término medio en todos los meses del año. Bajo estas condiciones no se pueden desarrollar los bosques de coníferas ni los bosques mixtos, siendo los encinares -como se ha dicho- las formaciones que originariamente ocupaban el sector. En la actualidad estas formaciones han sido ampliamente destruidas y fragmentadas y aparecen constituyendo bosquetes dispersos, con frecuencia muy degradados en sus estratos inferiores; en los mejor delimitados y conservados predominan *Quercus* de talla alta y hojas grandes, como *Q. crassipes*, *Q. castanea*, *Q. laeta* y *Q. centralis*, mientras que



Pisos de vegetación

- I. Piso pedemontano
- II. Piso de transición
 - IIa. Subpiso inferior
 - IIb. Subpiso medio
 - IIc. Subpiso superior
- III. Piso montano
- IV. Piso cacuminal

Exageración vertical de cinco veces

Figura 7.5. Esquema representativo de los pisos de vegetación y del estado actual de la vegetación en tres cortes a través de la margen derecha de los ríos a) Cuautitlán, b) Tlalnepantla y c) Hondo.

los más afectados por el impacto humano abundan los de talla baja y hojas pequeñas y gruesas, como *Q. texcocana* y *Q. microphylla*.

Estos enclaves de encinar, tras haber desaparecido casi por completo de las plataformas y lomas interfluviales -hoy roturadas y en gran parte urbanizadas- así como de las laderas tendidas de los valles disimétricos, se localizan en las laderas cortas y más empinadas de éstos o en el interior de valles y barrancos encajados, en los cuales se mantienen algo más resguardados del embate humano. Sin embargo, aún en estos emplazamientos de difícil acceso, el daño que se les ha causado es patente hasta el punto de que, en algunos casos, otras plantas más resistentes como los madroños, el pirul y el garambuyo incrementan su presencia y se convierten en competidores de los encinos. Fuera de ellos, el terreno fué desmontado con fines agropecuarios y en los últimos años soporta la presión de ser absorbido por los suburbios de la capital.

Así, dejando aparte lo que ya ha sido cubierto por las construcciones, la mayor parte de la superficie de este piso está ocupada por antiguos campos de cultivo abandonados, que son recolonizados por zacatales o por matorrales subhúmedos (frecuentemente con nopaleras y otras plantas espinosas adaptadas a la pobreza edáfica y a la sequedad ambiental, como los huizaches y los mezquites), en los que los elementos arvenses y ruderales son comunes, particularmente en los ámbitos inmediatos las áreas más frecuentadas por el hombre. Sobre ellos se han efectuado algunas reforestaciones con especies resistentes de latifoliadas, en concreto con eucaliptos, para controlar bordes de loma o vertientes particularmente inestables o, en menor medida, para mejorar la calidad paisajística.

7.4.2. El piso de transición.

La mezcla de coníferas y latifoliadas caracteriza la vegetación potencial en las laderas de los macizos montañosos entre los 2900 y los 3200 msnm. Puede decirse que constituyen el área principal de los bosques mixtos, pero éstos no se limitan a ellas sino que descienden por el interior húmedo y resguardado de los valles que atraviesan la parte superior de la rampa hasta cotas cercanas a los 2500 msnm. Se define así un piso de transición fitoecológica entre el piedemonte

y la montaña, donde las condiciones térmicas van de frescas a frías -con temperaturas medias anuales entre 11° y 15° y medias mensuales por debajo de 18°- y las precipitaciones alcanzan ya valores altos -entre 900 y 1300 mm anuales y en torno a 200 mm de pluviosidad media mensual-, favoreciendo el desarrollo de bosques que incluyen uno o varios elementos arbóreos de la familia de las pináceas, que puede ser *Abies religiosa*, *P. Montezumae*, *P. Leiophylla* o *P. pseudostrobus*, y encinos pertenecientes sobre todo a las especies *Quercus crassipes*, *Q. rugosa*, *Q. laurina* y *Q. mexicana*. Estos últimos pueden llegar a abundar de tal forma que se llegue a encinares casi puros.

Dadas las amplias posibilidades de combinación de estos dos componentes florísticos (incrementada por la participación de otras frondosas como *Garrya laurifolia*), se han podido diferenciar tres subpisos, cada uno de los cuales está definido por las especies concretas que constituyen las formaciones forestales y por el modo en que éstas se reparten el territorio (fig. 7.5).

El subpiso inferior se caracteriza por un complejo entramado en el que se alternan bosques mixtos de pinos y encinos y encinares casi puros, dominando estos últimos en las laderas mejor expuestas; en él los abetos están poco muy representados y el cuachichie (*Garrya laurifolia*) está ausente. El subpiso intermedio -entre las cotas de 2800 y 3100 msnm- está definido precisamente por la presencia muy significativa de esta especie parecida al laurel en todos los bosques mixtos; incluso llega a ser codominante en algunos sectores del macizo montañoso San Miguel, donde se asocia con encinos y abetos para dar lugar a un tipo de bosque muy bien diferenciado con cierto aspecto de laurisilva, al que anteriormente se hizo referencia. Finalmente, el subpiso superior se caracteriza por la desaparición de la *Garrya* y por el predominio de los abetos, que se asocian tanto con encinos como con pinos en los bosques mixtos; éstos en el interior de los valles ceden ya paso a las comunidades puras de abeto o de abeto y pino que descienden como una prolongación del piso montano.

Este piso de transición se encuentra también altamente influido por la antropización, que en este caso se relaciona menos con la urbanización y más con las actividades agrícolas, estando muy difundidos en él los cultivos (que se extienden sobre todo en amplias superficies de la rampa superior). Como consecuencia de ello, las ricas masas forestales originarias han sido en gran

medida expulsadas de las lomas y plataformas y, en algunos casos, se ven reducidas a enclaves restringidos al interior de los valles. Los matorrales subhúmedos y los zacatales, inducidos en su mayor parte por las actividades pecuarias, también ocupan también áreas importantes, que se extienden sistemáticamente en el entorno de los pueblos, de las áreas de labor, de los caminos y de las demás infraestructuras.

En contraste con el retroceso de los bosques naturales, este piso ha sido el más favorecido por las reforestaciones, entre las que destacan las efectuadas con *Abies religiosa*, *Pinus leiophylla* y *Pinus patula* en las laderas inferiores del macizo montañoso San Miguel (Parque Nacional Desierto de los Leones), así como las realizadas con *Cupressus Lindleyi* al pie del cerro Gachupín, de las que ha quedado el único bosque de cipreses existente en el área (el San Luis Ayucan). También, hacia su límite inferior, se han desarrollado bosquetes dispersos de eucalipto y pirul.

7.4.3. El piso montano.

La característica que mejor define este piso es el dominio de los abetos, que se presentan en bosques puros o mezclados con pinos, principalmente con los de las especies *Pinus Hartwegii*, *P. Montezumae*, *P. leiophylla* y *P. pseudostrobus*, en tanto que los encinos dejan de ser un elemento dominante o codominante y sólo se presentan como flora secundaria, junto con los madroños y los cuauchichies. Este cambio de proporciones en la composición florística se relaciona con la variación que la altitud introduce en el clima: entre los 3200 y los 3400 msnm las condiciones térmicas son ya bastante frías, en torno a 10° de media anuales y valores medios mensuales por debajo de 15° (inferiores a 10°C durante el invierno) y se alcanzan las mayores pluviosidades de toda la vertiente, con volúmenes medios anuales superiores a 1300 mm; además las heladas pasan a ser un fenómeno común durante la temporada de invierno, e incluso pueden ocurrir en otras estaciones del año.

Entre las alturas indicadas, este piso de vegetación se extiende a manera de franja continua y bien definida en la mitad septentrional del área estudiada (macizo Catedral y parte norte del macizo Las Cruces) y tiende a perder

continuidad hacia el sur, de modo que en el macizo montañoso San Miguel se presenta en forma de enclaves dispersos en las cuencas altas de los ríos Santo Desierto y La Magdalena. Pese a esta relativa estrechez y falta de definición, es posible distinguir también en él hasta tres subpisos, en base a las preferencias ecológicas de las formaciones vegetales.

El subpiso inferior se caracteriza por una matizada combinación de abetales puros y bosques mixtos de abeto con pinos en los que falta *P. Harwegii* y donde las demás especies de pino que se presentan son codominantes *con Abies religiosa*. En algunas laderas de umbría y en el interior de los valles de montaña estos abetales y bosques mixtos (casi siempre con *P. Leiophylla*) descienden - como se ha dicho- hasta los 2700 msnm.

El subpiso intermedio está definido por la presencia de bosques caducifolios de ailes (*Alnus spp.*). Estos árboles tiene una distribución bastante extendida en las vertientes montañosas, ya que forman parte de la vegetación secundaria en los bosques mixtos de abeto, pino y encino; sin embargo las formaciones puras ("olmeras") tienen un área restringida al interior de este piso. Según se indicó, sólo tienen una presencia significativa en laderas altas -en torno a los 3350 msnm- y bien expuestas del macizo montañoso Las Cruces, donde constituyen islotes dentro del ámbito dominado por los abetales.

El subpiso superior, por fin, vuelve a caracterizarse por la combinación de abetales puros y bosques mixtos de coníferas, pero en éstos las especies de pino presentes en el subpiso inferior ceden paso al *Pinus Hartwegii* como respuesta a las condiciones térmicas más frías que se registran en torno a la cota 3400 msnm. Carece de continuidad y prácticamente no existe en el macizo central de Las Cruces, consistiendo en pequeños enclaves dispersos en los macizos montañosos más elevados -Catedral y San Miguel-.

En conjunto, este piso montano se distingue de los anteriores (de transición y de piedemonte) por estar menos afectado por la antropización, sobre todo por los procesos directamente ligados a la expansión urbana. Como consecuencia de ello

las comunidades forestales tienen una mayor extensión relativa y se conservan en mejores condiciones. Sin embargo también aquí las actividades agrícolas han desempeñado un papel de cierta significación, toda vez que los bosques originarios han sido sometidos a la tala y a incendios intencionados en los sectores donde aún es posible algún aprovechamiento agropecuario. Debido a ello la masa forestal se presenta en la actualidad segmentada en manchas de mediana extensión separados por matorrales húmedos y zacatonales.

7.4.4. El piso cacuminal.

Es el piso de vegetación más alto de la sierra y se ubica por encima de la cota en que los abetos desaparecen y se entra en el área potencial exclusiva del bosque puro y abierto (o muy abierto) de *Pinus Hartwegii*. A estas alturas culminantes - entre los 3400-3500 msnm y los 3700-3800 msnm de las mayores cumbres- los vientos fluyen con intensidad y mitigan la condensación del vapor de agua, haciendo que la pluviosidad se reduzca a valores inferiores a los 1300 mm, al tiempo que las condiciones térmicas muy frías -con valores inferiores de 10° en todos los meses y heladas casi diarias- provocan la congelación temporal de la humedad del suelo.

Este piso sólo existe en las áreas culminantes de los macizos Catedral y San Miguel (el de Las Cruces no tiene altitud suficiente) y su reducida superficie se localiza en ámbitos particularmente difíciles, por su distancia, su orografía y su clima, para el acceso de las actividades humanas. Gracias a ello los pinares abiertos de cumbre se mantienen en bastante buen estado e incluso manifiestan claras tendencias de regeneración. No obstante en ciertos enclaves de topografía regular se han efectuado desmontes o aclarados para usos agropecuarios (casi totalmente abandonados en la actualidad), lo cual ha permitido el desarrollo de zacatales y sobre todo de zacatonales de gran talla que se intercalan con los bosques.

7.5. Conclusiones.

La ubicación geográfica y la altitud del territorio estudiado tienen un papel biogeográfico fundamental, ya que determinan la composición del *stock* florístico y hacen que los bosques templado-húmedos, con abetos pinos, y encinos como elementos dominantes, constituyan la vegetación potencial en la práctica totalidad de su superficie. Dentro de ella los factores morfoestructurales y climáticos, altamente correlacionados entre sí, establecen la organización fitoecológica fundamental en cuatro pisos que se acaba de exponer, correspondiendo cada uno de ellos al área de otros tantos tipos o combinaciones de formaciones forestales climáticas: a la de los bosques densos de encinos el "pedemontano"; a la de los bosques mixtos de coníferas y encinos, el "de transición"; al de los bosques mixtos de abeto y pinos, el "montano"; y al de los pinares abiertos, el "cacuminal".

A su vez, la extensión y la distribución de las formaciones boscosas concretas que constituyen las citadas combinaciones en el interior de los pisos, así como su fisonomía y su fenología, se adaptan a la diversidad de características hidrológicas, geomorfológicas y edafológicas que en ellos se dan y están fuertemente influidas por el antropismo. Este último factor ha cobrado un significado prioritario en la etapa histórica actual, en la que el hombre ha producido -y sigue produciendo- impactos de gran envergadura, generalmente directos y negativos, sobre la cubierta vegetal originaria, que no sólo se ha visto alterada y empobrecida sino que ha perdido gran parte de su terreno como consecuencia de los desmontes para explotación forestal o para abrir terreno a la producción agropecuaria y al uso habitacional.

Estas roturaciones voluntarias, junto con los daños derivados de los incendios y la contaminación, han favorecido la sustitución de amplias extensiones de bosque por formaciones de matorral, pastizales y campos de cultivo (activos o abandonados) y han llegado incluso a su ocupación por construcciones e infraestructuras. Frente a ello, las reforestaciones con especies autóctonas o introducidas han sido limitadas y, aunque algunas de éstas se han adaptado a los ambientes naturales y se reproducen de forma silvestre, sus efectos han sido escasos o, con frecuencia, negativos. Igualmente, la protección legal de algunos sectores del área de estudio -mediante su declaración como Parques Nacionales-

no ha tenido la eficacia necesaria para contrarrestar el retroceso y la degradación de la cubierta de bosque.

Puede decirse en consecuencia que la rica y variada vegetación forestal originaria ha tendido, y tiende, a disminuir su área sobre todo en la rampa y en las laderas montañosas inferiores, siendo sustituida mayoritariamente por formaciones de matorral y pastizal. Éstas están dotadas de mayor resistencia y, aún estando compuestas por plantas autóctonas, su creciente extensión supone una evidente y difícilmente remediable pérdida en la riqueza florística de la vertiente y un fuerte incremento de su inestabilidad geomorfológica.

No obstante, del análisis realizado se deduce que en la sierra de las Cruces y Monte Alto se conservan aun amplias representaciones de todas las formaciones forestales que la ocupaban antes de la generalización del antropismo, incluyendo enclaves donde las comunidades de más valor natural y paisajístico (particularmente frágiles y sensibles a la presencia y a las actividades del hombre) se mantienen en un aceptable grado de conservación. Así, pese a todo, los pinares, los abetales, los bosques mixtos de coníferas, las "olmeras", los bosques mixtos de coníferas y encinos, las "laurisilvas" arboladas de *Garrya laurifolia* y los diversos tipos de encinares continúan siendo elementos fundamentales del paisaje de la vertiente, incrementándose su importancia y calidad según se asciende por ella y aumenta la distancia a la gran aglomeración urbana de Ciudad de México.

8. LOS SUELOS.

Como en cualquier parte del Globo, los suelos de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo son el resultado de complejos procesos edafogénéticos en los que intervienen los demás componentes macro y mesoestructurales del paisaje, incluyendo en este caso las cada vez más notables influencias antrópicas. Por ello, se ha creído conveniente realizar de entrada una revisión general de los caracteres del medio que son condicionantes de la génesis y la evolución de los suelos en el área.

Posteriormente, se diferencian y exponen los grupos, las unidades y las fases de suelo que, de acuerdo con las citadas condiciones ecológicas, se han desarrollado en la vertiente serrana, para lo cual se han usado los criterios propuestos en la última versión revisada del sistema de clasificación de suelos de la FAO (1991). La identificación de las diversas unidades se ha basado en los mapas edafológicos a escala 1:50.000 de I.N.E.G.I. (1982), cuyo contenido fue verificado en campo y mediante fotointerpretación se depuraron los contactos entre los tipos cartografiados. Por fin, se han establecido las relaciones temporoespaciales que dan razón de la cubierta edáfica, para lo cual se ha echado mano de la cartografía especializada y del análisis de una serie de secuencias topoedafológicas realizadas exprofeso.

Cabe señalar que, a la fecha, el estudio de los suelos del territorio es apenas abordado en escasas publicaciones, careciéndose de trabajos que traten el tema con suficiente detalle; es posible que tal carencia de información sea en parte consecuencia de la gran complejidad que encierra la organización espacial del entramado edáfico. Debido a ello -y también a las limitaciones que impone la escala de trabajo que se ha escogido para todos los análisis sectoriales (1:100.000)- se ha considerado oportuno realizar el reconocimiento espacial a partir de la definición de "agrupaciones de suelos", cuyas áreas fueron cartografiadas a la escala indicada; luego, mediante cortes topoedafológicos, se precisaron las relaciones entre las unidades que las componen.

8.1. Las influencias del medio en la edafogénesis: los factores formativos del suelo.

Los suelos se ubican, junto con la vegetación, en el peldaño más complejo y dependiente de la estructura paisajística de la vertiente: es decir, su organización es la más complicada y matizada, toda vez que depende del estado y de las relaciones que se den en cada sector de ella entre los otros componentes del medio a que ya se ha hecho referencia. Así, se trata del rol que cumplen los diversos elementos del medio y de la sociedad en la edafogénesis, haciendo destacar en primera instancia los factores más generales e independientes, relativos a los materiales del substrato aflorante, al clima, la hidrología y el modelado del relieve, para hacer referencia después a los factores bióticos (vegetación y antropismo) que, si bien se sitúan estructuralmente en el mismo nivel que el suelo, tienen en la sierra claras influencias sobre algunos aspectos capitales de la edafogénesis.

8.1.1. La influencia del substrato litológico.

La formación de una cubierta edáfica relativamente continua a lo largo de la vertiente estudiada sólo pudo producirse al final de los últimos eventos eruptivos, que -como se dijo- acontecieron en el Pleistoceno tardío. A partir de entonces, y como es común a las áreas afectadas por volcanismo cuaternario, se ha desarrollado una activa morfogénesis que ha dificultado la evolución de los suelos, siendo la edafogénesis un conjunto de procesos lentos y constantemente interrumpidos por las acciones del modelado. Como consecuencia de ello las unidades de suelo que existen en el área han de ser, por lo general, jóvenes y de gran parecido con los materiales del substrato litológico a partir del que se han desarrollado. Desde luego, la susceptibilidad intrínseca de estos materiales a la meteorización ha tenido una intervención muy significativa, toda vez que condiciona el grado de evolución y el tipo de los suelos que resultan. En este sentido se han reconocido dos aspectos claves: la composición química y las propiedades mecánicas de las rocas.

La composición química de las rocas aflorantes es muy homogénea en toda la vertiente, ya que se trata de vulcanitas de composición intermedia, de andesita a

dacita (con algo de riodacita en la sierra del Tigre), que incluyen minerales resistentes a la degradación, como los vidriados, los cristalinos y los ferromagnesianos, junto con otros fácilmente alterables, como los feldespatos, los elementos calcosódicos y los sódico-cálcicos. No obstante se encuentran algunas formaciones o depósitos particularmente deleznales, entre los que están las tobas afectadas por descarbonatación y oxidación que afloran en la parte superior de la rampa al pie de los macizos de Las Cruces y Catedral, así como las acumulaciones de piedra pómez fina y suelta que afloran en algunas barrancas en la rampa meridional, al sur de río Hondo.

En cuanto a las propiedades mecánicas de las rocas, se distinguen tres niveles de disposición del roquedo a la edafogénesis. El primer nivel es el que implica mayores dificultades a la edafización y en él se encuentran las acumulaciones lávicas que, tras haber sido descubiertas por los procesos de modelado afloran en el interior de algunos valles y cabeceras muy incididos, como los de los ríos La Magdalena y Navarrete entre otros. La gran dureza de este roquedo, sumado a los altos gradientes topográficos que suelen coincidir con su afloramiento, ralentiza los procesos edafogénicos: la alteración es escasa a la vez que las acciones de modelado se aceleran, de modo que se dificulta la formación y permanencia del *solum* y sólo se originan suelos discontinuos, raquíuticos y de poco espesor que se encuentran resguardados en pequeños enclaves.

En un segundo nivel de resistencia a la edafización se encuentran los depósitos piroclásticos texturalmente gruesos (con cantos y bloques) y fuertemente cementados o compactados que afloran al sur del río Hondo. Estos materiales oponen amplia resistencia al ataque mecánico y químico de la meteorización y por ende la edafogénesis a partir de ellos es un proceso que suele ser lento e interrumpido constantemente por la dinámica erosiva que los afecta, sobre todo en el interior de valles y barrancos.

Finalmente, el tercer nivel incluye a las rocas clásticas no consolidadas que muestran escasa resistencia a la alteración y a la edafización, pudiendo proceder de diversas fuentes y presentar características distintas. Entre ellas se encuentran las cenizas volcánicas que, una vez depositadas tras las erupciones volcánicas, fueron redistribuidas por efecto de los procesos externos, quedando limitado su radio de mayor extensión al interior de las vertientes montañosas; la

edafogénesis sobre estos materiales, y bajo las condiciones particulares de clima y cobertura vegetal que se dan en el área, es lenta y además suele estar afectada por procesos mecánicos que destruyen los protosuelos. También quedan incluidas las rocas friables o formaciones derivadas de la erosión de las vertientes, incluyendo los mismos protosuelos que una vez arrastrados desde las partes altas se acumulan y afloran en el área del piedemonte. Asimismo, corresponde a este nivel el roquedo compacto de andesita que constituye la sierra del Tigre, ya que, debido a su antigüedad, está intensamente alterado por tectonismo y por un mayor tiempo de exposición al ambiente, lo que posibilita una más eficaz dinámica edáfica.

8.1.2. La influencia de las condiciones climáticas.

Si bien como norma general las influencias del clima son fundamentales en la formación de los suelos, el hecho de que la mayor parte de las formaciones edáficas de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo sean poco evolucionados hace que sus características dependan fundamentalmente de la roca madre, quedando el clima en un papel relativamente secundario en la práctica totalidad del área. La única excepción es la rampa norte, desarrollada a los pies del macizo Catedral, donde las condiciones climáticas han sido un condicionante básico para la evolución de suelos lavados y vertisoles.

Puede decirse que el clima que caracteriza el área tiene una doble influencia en la edafogénesis. Por una parte, sus valores pluviotérmicos pueden llegar a ser lo suficientemente altos como para mantener ambientes húmedos capaces, en principio, de permitir una importante actividad bacteriana y una pronta alteración del material de partida y del *solum*. En cambio, los descensos térmicos propiciados por la altitud limitan la microfauna del suelo y llegan a causar la congelación del agua, por lo que las descomposiciones son de mayor lentitud y están protagonizadas por los hongos. Y hay que tener en cuenta además que, en coordinación con las características litológicas y topográficas, los fenómenos hidroclimáticos pueden adoptar formas francamente destructivas en relación con el suelo (como es el caso de los deslizamientos de paquetes de horizontes edáficos y los lavados superficiales).

Un aspecto de gran interés relacionado con el clima es el de la influencia de los paleoclimas, pues, aunque el proceso edafogenético resultó repetidamente interrumpido por el volcanismo, son numerosos los materiales que componen la rampa de enlace que muestran huellas de haber sido afectados por distintas modalidades de meteorización ajenas a las condiciones climáticas del presente. Los primeros estudios sobre este tema fueron realizados por Bryan (1949), quien puso de manifiesto que los contrastados cambios climáticos del Pleistoceno influyeron en el modo de alteración de los paquetes volcanoclásticos: según este autor, los periodos cálido-subhúmedos (con estación seca más acentuada que en la actualidad) favorecieron la oxidación de los materiales tobáceos -que adquirieron tonalidades rojizas-, la acumulación de sustancias saturadas en CaCO_3 y la formación de caltrates en los suelos del piedemonte inferior de la rampa norte. Por el contrario, los materiales meteorizados bajo condiciones francamente frías presentan menores huellas de alteración y muestran tonalidades característicamente pardas.

8.1.3. La influencia de las condiciones geomorfológicas.

Como ocurre comúnmente en los conjuntos volcánicos relativamente jóvenes, la vertiente estudiada tiene altos gradientes topográficos e hidrológicos que mantienen un intenso modelado externo y por ende afectan la evolución regular de los suelos, que suelen ser delgados y poco diferenciados. Este dinamismo geomorfológico se incrementa conforme aumenta la altitud y se hace particularmente significativo en el interior de los inestables barrancos pedemontanos, donde el roquedo -deleznable y triturado por la tectónica- es genéricamente más susceptible a los procesos de modelado. Por contra, en las superficies planas o alomadas que constituyen el pie de la sierra, la fuerza modeladora de la arroyada se frena como respuesta al decremento de las pendientes topográficas, favoreciendo los procesos de percolación, indispensables para la evolución de los suelos profundos que dominan en este sector bajo de la vertiente.

Por otra parte, la orientación al Este de la vertiente en su conjunto constituye en sí misma un rasgo geomorfológico de gran trascendencia en la edafogénesis, ya

que favorece la descarga de las precipitaciones, así como los efectos de la insolación y del viento. Y, a mayor escala, la relación entre la topografía y la orientación concreta de las laderas de los valles y barrancos crea dos situaciones distintas desde el punto de vista edafogénico: en las laderas que miran al sur, más extremosas y secas y con frecuencia roturadas, la mineralización de los aportes orgánicos es más completa, llevando al empardecimiento del *solum* que tiende a ser pobre en materia orgánica y rico en contenido de bases; por el contrario, en las laderas que miran al norte, que cada disfrutan de temperaturas frescas algo más prolongadas y comúnmente se encuentran forestadas, las mineralizaciones son más limitadas a la vez que los aportes orgánicos son más altos, de lo que se deriva la formación de acumulaciones húmicas en perfil.

8.1.4. La influencia de la vegetación.

La vegetación de la vertiente es -como se ha dicho- muy rica y variada, dependiendo su influencia en la edafogénesis de su tipo y su densidad. Desde estos puntos de vista se distinguen dos modalidades de cubierta vegetal: una es la de talla alta, que incluye las formaciones boscosas y densas (todas las forestales, excepto los bosques abiertos de pino *Hartwegii*) que se extienden sobre las laderas montañosas y del interior de los valles; la otra es la vegetación de talla baja e incluye a las formaciones comúnmente abiertas de matorrales y pastizales, además de los cultivos, que se distribuyen en algunas laderas montañosas y sobre todo en las superficies de las plataformas y lomas pedemontanas.

El tipo y la cantidad de los aportes orgánicos proporcionados por las ramas o talos y la hojarasca, así como el intercambio de sustancias entre las plantas y el suelo al nivel de las raíces, son igualmente aspectos que repercuten en la edafogénesis, sobre todo en lo tocante a los procesos asociados con la humificación y mineralización de la materia orgánica que, como es de esperar, son más significativos bajo presencia de vegetación de talla alta. A pesar de que la mayoría de las especies arbóreas son perennes o semiperennes, los bosques incluyen en sus diversos estratos especies con variada fenología, por lo que se aseguran aportes orgánicos durante todo el año.

De otro lado, la resistencia de las hojarascas y demás restos vegetales a la degradación bioquímica es variada en el área. Las hojas aciculares de los abetos y los pinos son de alta resistencia, por lo que imponen una tendencia a la evolución de horizontes minerales poco evolucionados (A1), así como la aparición de horizontes de acumulación de materia orgánica fresca (A0). En cambio, la hojarasca de los encinos, menos resistente, favorece las acciones bioquímicas; no obstante, la mayor constancia de los aportes permite también la formación de acumulaciones superficiales de hojarasca fresca.

La vegetación forestal coadyuva también a mantener el suelo resguardado de una intensa insolación, creando ambientes microclimáticos particularmente frescos y húmedos, que en buena medida son necesarios para el desarrollo de los suelos cineríticos y lavados que expresan en mayor medida la riqueza natural del área estudiada. Los enclaves en que éstos aparecen se encuentran en las laderas más altas de la vertiente, así como las cortas y empinadas laderas del interior de los valles, es decir, los ámbitos de más difícil acceso al hombre.

8.1.5. La influencia de las acciones antrópicas.

Los diversos usos y aprovechamientos humanos del territorio afectan al desarrollo y la conservación de los suelos y lo hacen prácticamente siempre de forma negativa, siendo posible distinguir dos tipos de impactos. Uno es el de los impactos directos, que se manifiestan de modo más o menos inmediato a la acción que los produce y que sin duda implican consecuencias muy graves; provienen de actividades de tipo mecánico y suelen llevar al desmantelamiento total de los horizontes del suelo. A este tipo corresponde la remoción y cubrimiento de los suelos para la construcción de habitaciones, de carreteras y autopistas, de grandes centros comerciales o de obras públicas, así como la extracción de material en canteras; y además las tierras de desecho son vertidas en valles y barrancos, junto con escombros y basura, con lo que se sepultan otras unidades de suelo anexas al área de aprovechamiento antrópico.

Otro tipo de impactos son los indirectos, que se relacionan con acciones humanas que afectan a los otros componentes del medio natural, pero que tienen repercusiones a mediano y largo plazo sobre la cubierta edáfica. Por lo general

se trata de actividades realizadas a gran escala en la vertiente y relacionadas con el rápido proceso de sustitución de ámbitos forestales por agrícolas y urbanos, todas las cuales suponen una fuerte alteración del medio que tiene importantes repercusiones sobre el suelo.

Entre estas actividades destaca la sustitución de los bosques por otras formaciones o cultivos de menor talla. Ello implica en primera instancia el decremento de los aportes orgánicos -lo que suscita cambios en el sentido de la edafogénesis- así como el aumento de la susceptibilidad a los procesos erosivos -que actúan con mayor eficacia sobre los suelos en ausencia de una cubierta forestal densa-. Además, las superficies que pasan a estar más intensa y dilatadamente expuestas a la insolación, al verse afectadas por unas condiciones más cálidas y secas en los horizontes superficiales de sus suelos, se ven afectadas por mineralizaciones son más completas, propiciando medios desacidificados pobres en carbono orgánico.

Igualmente son de destacar la alteraciones de los sistemas hidrológicos derivadas de la explotación intensa del recurso en ríos y manantiales y las innumerables acciones que producen la contaminación del suelo por medio de desechos urbanos y de escombros de construcción, así como la compactación de las superficies desnudas en los entornos de los pueblos y los espacios agrícolas. Todas ellas son acciones ampliamente generalizadas que ocasionan -además del daño que en sí representan- una gran afectación a la disponibilidad de agua en el perfil, al desarrollo de importantes procesos de tipo bioquímico, a las lixiviaciones y a los lavados; favorecen así mismo el escurrimiento superficial del agua y por ende potencian el arrastre por la arroyada de los horizontes superficiales del suelo.

En términos generales, la consecuencia más dramática de las acciones del hombre en la cubierta edáfica de la vertiente es un cambio generalizado en el sentido de la edafogénesis, como consecuencia del cual los suelos tienden ahora a evolucionar de forma distinta a como lo hicieron en el pasado histórico. Y ello ocurre mientras se carece de un control real y eficiente de la explotación y uso que se hace de los mismos.

8.2. Las unidades de suelo.

Según el sistema de clasificación de suelos de la FAO-UNESCO (1981), en la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo están presentes ocho unidades de suelo que, atendiendo a las condiciones generales del medio que determinaron su evolución en el área, se pueden agrupar en tres grupos o contextos: a) El de los suelos formados sobre cenizas y tobas volcánicas, que incluye andosoles y cambisoles; b) El de los suelos delgados poco evolucionados, que incluye leptosoles, regosoles, fluvisoles y antrosoles; y c) El de los suelos profundos y muy evolucionados, que agrupa luvisoles y vertisoles.

8.2.1. Los suelos formados sobre cenizas y tobas volcánicas.

La edafogénesis a partir de materiales cineríticos resulta particularmente lenta, toda vez que la incorporación de materia orgánica vegetal al suelo está limitada por la naturaleza misma del proceso. Cuando el vidrio volcánico y los feldespatos se hidratan se produce la liberación y soluvación moderada del SiO_2 y de algunos cationes. Esta liberación del sílice permite una acumulación superficial de bases, entre las que el aluminio es fundamental, ya que se redistribuye y, con el sílice remanente, forma geles amorfos como el alófono (silicato aluminico amorfo). Estos últimos se unen firmemente con la materia orgánica del suelo, formando complejos orgánicos de una peculiar resistencia al ataque microbiano, de modo que su mineralización y la formación y liberación de sesquióxidos resulta limitada.

8.2.1.1. El andosol úmbrico.

La condición fundamental para la evolución de la variante úmbrica del andosol es la existencia de aportes constantes de hojarasca y de otros productos vegetales, los cuales -debido a la lentitud con que acontece la mineralización- se acumulan en los niveles más superficiales del suelo como mantillos deficientemente alterados o en forma de compuestos de humus; ello le confiere un alto contenido en materia orgánica y un perfil $A_0/A_1/(B)/C$, donde el

horizonte superficial es de humus ácido y mal desarrollado, de tipo *mull* ándico. Ambos horizontes A tienen un alto contenido en compuestos orgánicos -del 15 al 30% según Ferreras (1991)- lo que les confiere una tonalidad negra y una textura franco limosa o más fina, esponjosa o muy suelta y ligera, propia de horizontes A úmbricos o móllicos. En éstos los agregados tienen una estructura firme y, en consecuencia, el grado de saturación supera el 50%.

El horizonte (B) es de tipo cámbico y resulta de la alteración del horizonte C, por lo que su volumen depende de las características de la capa de cenizas del substrato y en ocasiones es inexistente, en cuyo caso el horizonte A reposa directamente sobre un C de cenizas poco alteradas. Localmente el roquedo compacto de andesita aflora a menos de 10 cm de la superficie, con lo que se define una fase de tipo lítico, común en ambientes agrestes (aunque fuera de los entornos que son dominio de los leptosoles).

8.2.1.2. El andosol háplico.

La formación de esta variante de andosol se asocia con la escasez de aportes orgánicos de origen vegetal. La relación alófano-materia orgánica deja de ser eficiente y como resultado decrece la producción de compuestos orgánicos resistentes y se permite una más completa mineralización de la materia orgánica, en tanto que las sustancias y bases que resultan del proceso son mejor lixiviadas, ocasionando el empadecimiento del perfil que caracteriza a estos suelos.

El perfil típico está conformado por los siguientes elementos: A1/(B)/C. El horizonte orgánico (A_o) característico de la variante úmbrica desaparece en ésta, en tanto que el horizonte mineral (A1) es de tipo A ócrico, de menor contenido en alófano y mayor en arcillas y menos del 50% de saturación de bases; es de textura franco limosa o más fina, de consistencia untuosa y macizo cuando se seca. De la misma forma que ocurre con los andosoles úmbricos, el horizonte A puede descansar sobre un horizonte B cámbico de alteración o bien directamente sobre un C de material cinerítico poco alterado, con la existencia de fases líticas en las mismas condiciones que en el caso anterior.

8.2.1.3. El cambisol crómico.

En numerosas ocasiones los depósitos tobáceos y de otros piroclastos se muestran muy meteorizados por oxidación de elementos máficos y descalcificación, presentando importantes concentraciones de arcillas de neoformación en el horizonte C y, frecuentemente, la pérdida de la estructura original. Sobre estos materiales la edafogénesis adopta líneas distintas a la andosolización, que se caracterizan por el desarrollo de espesos horizontes B de tipo cámbico de alteración como elemento definitorio de los suelos.

El perfil típico que corresponde a estos suelos es A/B/C, donde el horizonte A puede presentar características variables dependiendo del medio y sobre todo de los aportes orgánicos (ya que estos suelos responden en este sentido de la misma forma que los andosoles). Aunque en las áreas boscosas de la vertiente evolucionan cambisoles úmbricos o móllicos de tonalidades oscuras, la mayoría de estos suelos se encuentran en terrenos que han sido deforestados desde hace ya varias décadas, por lo que muestran una tendencia al empardecimiento del perfil y a la evolución de un horizonte A ócrico, delgado y de croma alto.

El horizonte B cámbico es por definición un horizonte de alteración y cuenta por lo menos de 15 centímetros de espesor, dentro de los cuales carece de estructura rocosa. En él los minerales arcillosos (el perfil tiene por lo menos 8% de arcilla) están afectados por procesos de reducción y liberación de hierro que le confieren unas tonalidades pardas a rojas y cromas más altos que los del horizonte subyacente, aunque sin llegar a conformar un horizonte argílico. El horizonte C, por su parte, es delgado y mal definido debido a la citada alteración del material; y su contacto con el horizonte inmediatamente superior se da a través de una gradual transición. En general los cambisoles del área están poco lavados, por lo que existe una alta acumulación de bases y de capacidad de intercambio, siendo estructuralmente débiles.

8.2.2. Los suelos delgados poco evolucionados.

Este conjunto incluye un amplio abanico de suelos delgados que, por definición, no exceden mucho de 10 cm de profundidad: leptosol lítico, regosol éutrico,

fluvisol eútrico y antrosol úrbico. Aunque responden a génesis diferentes, todos ellos coinciden en evolucionar en medios ecológicamente muy inestables, afectados por procesos morfogenéticos o actuaciones antrópicas que se contraponen a la edafogénesis. En relación con ellos cabe señalar que algunas de las innovaciones incluidas en la clasificación de suelos de la FAO-UNESCO tras la revisión de 1991 es la eliminación de los antiguos grupos de los litosoles y de los rankers, que, junto con las rendzinas, han sido incluidos en el nuevo Grupo de los leptosoles; otro cambio de gran interés es la formación del Grupo de los antrosoles, que resulta fundamental toda vez que permite incluir dentro del sistema taxonómico a los suelos evolucionados bajo ambientes fuertemente humanizados, como es común en nuestro caso de estudio.

8.2.2.1. El leptosol lítico.

Se forma este tipo de suelo sobre los afloramientos de rocas compactas o de piroclastos fuertemente consolidados que muestran una gran resistencia a la edafización, haciendo que ésta transcurre como un proceso lento y continuamente interrumpido (e incluso anulado) por acciones “erosivas” adversas a la edafogénesis. Pero además estos suelos rocosos se forman a raíz de la destrucción mecánica de otras unidades de suelo previamente existentes, sobre todo de andosoles y cambisoles situados en ambientes agrestes. Pese a su escaso espesor -inferior a 10 cm- en ningún caso presentan fases líticas (ya que resulta evidente su carácter rocoso). Su perfil típico es A/C, con el horizonte A ócrico (aunque también puede ser de tipo úmbrico), de escaso contenido en materia orgánica y alto grado de saturación, discontinuo y casi siempre oscuro debido al material del que procede. Este horizonte reposa directamente sobre un C de roca dura o fuertemente compactada y continua, normalmente de naturaleza andesítica.

8.2.2.2. El regosol eútrico.

A este tipo corresponden los suelos jóvenes y poco evolucionados que presentan escasas características de diagnóstico y grandes semejanzas con el material del que proceden -que suele consistir en depósitos coluvionares poco consolidados o

mantos detríticos de roquedos superficialmente muy alterados-, pudiendo presentar facies líticas, donde el roquedo aflora a menos de 10 cm de profundidad o bien está parcialmente sepultado por coluviones recientes. Su perfil es sencillo de tipo A/C, con un horizonte A ócrico, con bajo contenido en materia orgánica (aunque también puede ser A úmbrico), que se asienta directamente sobre los materiales rocosos del horizonte C. Su color, aunque varía ampliamente según sean los materiales de partida, en general tiene cromas altos.

Los regosoles eútricos son por definición los más fértiles del Grupo: de estructura suelta y de buen drenaje, no tienen propiedades hidromórficas en superficie y el lavado de ácidos les confiere un escaso contenido en nutrientes, en sales y en cal (su grado de saturación es inferior a 50%) y tampoco están afectados por permafrost. Pero en la sierra Del Tigre, sobre roquedos ricos en carbonato cálcico, estos suelos evolucionan generando una acumulación calcárea a, por lo menos, 20-50 cm de la superficie, lo que es propio ya de la variante calcárica del regosol.

8.2.2.3. El fluvisol eútrico.

Como es de esperar en ambientes volcánicos de topografía agreste, los fluvisoles son suelos poco extendidos, desarrollándose sólo en el interior de las superficies semillanas de relleno aluvial. Se forman sobre sedimentos más o menos recientes y, debido a la alta inestabilidad propia de los medios fluviales, reciben constantes aportes de materiales frescos. Como consecuencia de ello la edafogénesis presenta grandes dificultades y estos suelos, poco profundos (con 50 cm desde la superficie como máximo) y escasamente diferenciados, cuentan con un único horizonte de diagnóstico, que es de tipo A ócrico o móllico dependiendo del contenido local de materia orgánica, pero que en términos generales pueden ser agrupados bajo la denominación de fluvisol eútrico. Se trata, pues, de unidades edáficas poco evolucionadas, aunque notablemente enriquecidas (tienen un grado de saturación superior al 50%), con las bases transportadas por las corrientes desde las porciones más altas de la vertiente.

8.2.2.4. El antrosol úrbico.

Este tipo de suelos es resultado de la parcial destrucción de otros debida a las actividades que el hombre realiza en la vertiente, o bien de procesos de edafización desarrollados sobre materiales antropógenos acumulados en diversos lugares de ella, como los basureros que -emplazados en el interior de los barrancos- incluyen desechos remanentes de la actividad extractiva en canteras o de la remoción de tierras debida a obras de construcción. Durante el proceso de formación de estos antrosoles, los horizontes superficiales de los antiguos suelos pueden ser, en unos casos, removidos y eliminados o, en otros, sepultados por los depósitos urbanos, de tal forma que la nueva unidad edáfica es siempre de escasa edad y su perfil, de limitado desarrollo -no supera los 50 cm-, es muy variado dependiendo del tipo del suelo precedente y del grado del daño causado al mismo. Por ello el único elemento siempre presente es un horizonte A de características variables y que frecuentemente reposa sobre el horizonte C.

8.2.3. Los suelos profundos muy evolucionados.

Dentro de este conjunto quedan incluidos los luvisoles crómicos y los vertisoles eútricos, suelos éstos que están diferenciados de los tipos anteriores por su mayor profundidad y evolución de los horizontes. En ellos la lixiviación y el lavado son los procesos fundamentales, que permiten un notable desarrollo de horizontes B de acumulación, las características texturales y de color de los cuales son distintas según el material que los enriquece. En los suelos evolucionados en ámbitos forestales, los horizontes de acumulación adquieren una tonalidad oscura debido al alto contenido en material orgánico, mientras que los colores pardos y rojizos dominan en los de las áreas deforestadas, como consecuencia de un intenso lavado de productos de alteración (arcillas de neoformación y sesquióxidos de hierro).

8.2.3.1. El luvisol crómico.

Este tipo de suelo se forma -al igual que el cambisol- sobre materiales tobáceos volcánicos ricos en minerales de hierro que, previamente a la edafización,

resultaron alterados y ferruginizados bajo unas condiciones de meteorización hoy inexistentes. En la actualidad, el ambiente climático templado limita las reducciones y las liberaciones de hierro, por lo que las ferruginizaciones aparecen suavizadas y, en su lugar, la fersialitización ocupa un lugar importante en la evolución de los suelos. Además, pasan a desempeñar un papel fundamental la lixiviación de bases y el lavado de arcillas, procesos que explican la notable profundidad de los perfiles y la evolución del horizonte B iluvial de enriquecimiento por acumulación de hierro (aunque sin llegar a tener las características de un horizonte B de tipo ferrálico).

El perfil tipo es (A)/Bt/C, en el que el horizonte (A) no está siempre presente debido a la falta de aportes orgánicos y el E álbico, característico de algunos luvisoles, es inexistente en esta variante crómica. Por debajo de la capa eluvial se forma otra iluvial que corresponde a un horizonte (Bt) árgico de acumulación de arcillas; es éste de textura franco arenosa o más fina, con tonalidades de pardo fuerte a rojo y cromas más altos que los del horizonte sobreyacente, con alta capacidad de intercambio de cationes, formación de argilanes, cutanes de arcilla y arcillas con revestimientos. En unas pocas ocasiones se forman fases de duripán por acumulación de cementantes de sílice, óxidos de hierro y carbonato cálcico a una profundidad inferior a 100 centímetros de la superficie (FAO, 1981).

8.2.3.2. El vertisol eútrico.

Los vertisoles se desarrollan en las porciones marginales de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, sobre materiales mayoritariamente detríticos derivados de la destrucción de los relieves montañosos volcánicos y que alcanzaron el área basal gracias a la acción de las corrientes superficiales, que los transportaron desde las partes medias y altas de la sierra; estos materiales son texturalmente finos y presentan altos contenidos en calcio y magnesio. Pero su característica fundamental es que presentan diversos grados de alteración con la consecuente presencia de arcillas de neoformación -comúnmente montmorillonita-, lo que posibilita la evolución de estos vertisoles, que son los suelos de mayor espesor reconocidos en el área de estudio, contando por lo menos con 50 cm de profundidad.

Su perfil, sin embargo, es poco diferenciado y se caracteriza por los siguientes componentes: A₁/(B)/C. El horizonte más superficial tiene alto contenido en bases, adquiriendo una estructura granular y una buena aireación que favorecen la actividad bacteriana; debido a ello, este horizonte se caracteriza por una rápida destrucción de la materia orgánica que ocasionalmente lleva a la desaparición del mismo. El horizonte B, por su parte, está bien definido y es rico en arcilla expandible, por lo que tiene estructura prismática y está sometido a un continuo proceso de expansión y retracción que le permite -cuando las grietas están abiertas- enriquecerse de los aportes procedentes del horizonte A (participando, por ende, de la destrucción de aquél).

Sin embargo, dado que el contenido de arcilla es relativamente bajo -del 30% en todo el perfil- y que la proporción de arcillas expandibles de tipo montmorillonita también lo es (inferior a 2:1), algunas características propias de los vertisoles están atenuadas como son las estructuras de dilatación- retracción, el microrelieve de tipo gilgai y la presencia de argilanes y de caltrates o de concentraciones de óxido de hierro y la rubefacción por deshidratación de óxidos de hierro.

Las condiciones extremas de saturación y resecación se dan sólo cada año en un periodo muy corto, que no excede de unas pocas semanas. El resto del tiempo los vertisoles mantienen una cierta humedad, afectada en ocasiones por el ascenso de los mantos freáticos. Durante el verano (de mayo a septiembre) las condiciones hídricas del suelo son buenas como respuesta a los aportes pluviales, siendo entonces el hinchamiento y el lavado de arcillas los procesos más representativos de la dinámica interna de los suelos. En cambio, durante el tiempo de sequía invernal (de noviembre a abril) las plantas llegan a requerir de las reservas del suelo, acumulándose altos déficits de humedad y formándose pequeños agrietamientos (que, en teoría, pueden no sobrepasar unos centímetros de ancho y 50 cm de profundidad). La continuidad de lavados y desecamientos lleva a una redistribución de los materiales y favorece la evolución de perfiles poco diferenciados.

8.3. Las agrupaciones de suelo y su distribución en el territorio.

Como se ha señalado al comienzo de este apartado, los suelos se sitúan en el nivel de dependencia más alto dentro del sistema del paisaje, ya que se ven condicionados por todos los demás elementos ambientales y las variaciones en el modo de combinación de éstos implican condiciones distintas a la edafogénesis y, en consecuencia, dan lugar al desarrollo de distintos tipos edáficos. Por esta causa, la organización espacial de éstos se manifiesta a manera de mosaico intrincado, difícil de cartografiar a la escala 1:100.000 que se viene utilizando en los análisis sectoriales. Esto resulta particularmente problemático en el caso de algunos suelos de distribución muy difuminada y que aparecen en numerosos enclaves dispersos de pequeño tamaño -como los fluvisoles y los antrosoles-, pero que no pueden dejarse de lado debido al gran significado que tienen, no solo en un contexto edafológico, sino ecológico y paisajístico.

Categoría	Agrupación	Unidades de suelo
Suelos de los macizos montañosos desarrollados sobre capas delgadas de cenizas volcánicas o bien sobre el roquedo compacto de andesita	Andosol úmbrico	Andosol úmbrico Leptosol lítico
	Andosol háplico	Andosol háplico Leptosol lítico
	Leptosol lítico	Leptosol lítico
Suelos de las rampas centrales y Sur, desarrollados sobre piroclastos y materiales residuales de textura gruesa	Cambisol crómico	Cambisol crómico Andosol háplico Antrosol úrbico
	Regosol eútrico	Regosol eútrico Andosol úmbrico Andosol háplico Leptosol lítico Fluvisol eútrico Antrosol úrbico
Suelos de la rampa Norte, desarrollados sobre piroclastos y materiales residuales de textura fina	Luvisol crómico	Luvisol crómico Andosol úmbrico Andosol háplico Fluvisol eútrico
	Vertisol eútrico	Vertisol eútrico Fluvisol eútrico Antrosol úrbico
Suelos de la sierra del Tigre y el cerro Atlaco desarrollados sobre piroclastos y rocas compactas alteradas	Regosol calcárico	Regosol eútrico Leptosol lítico Antrosol úrbico

Cuadro 8.1. Categorías, agrupaciones y unidades de suelo.

Por ello, en lugar de unidades edáficas, se han cartografiado agrupaciones de suelos con el fin de incluir en un mismo recinto, no solo las unidades más representativas, sino también aquellas de distribución localizada que se asocian con ellas. Cada agrupación está constituida, en consecuencia, por varias unidades de suelo que aparecen ordenadas según su representatividad, siendo la primera y más importante la que la da nombre. De otro lado, las distintas agrupaciones fueron clasificadas en tres categorías, según el contexto litológico y morfológico en que se encuentran (cuadro 8.1).

8.3.1. Los suelos de los macizos montañosos, desarrollados sobre capas delgadas de cenizas volcánicas o sobre el roquedo compacto de andesita.

Las laderas montañosas de los macizos Catedral, Las Cruces y San Miguel están recubiertas por mantos más o menos continuos de cenizas volcánicas y tobas, sobre los cuales ha predominado la andosolización en condiciones estables, de gran frescura y humedad -con temperaturas anuales en torno a 10° C y precipitaciones en torno a 1300 mm anuales- que aseguran una alta disponibilidad de agua en la superficie y, si bien la percolación se ve limitada por el alto contenido de arcilla en las cenizas, éstas son también muy porosas y tienen alta capacidad de retención. Solamente en los enclaves escarpados de las cabeceras fluviales las capas de cenizas han sido parcialmente dismanteladas por la erosión y en su lugar afloran las lavas andesíticas, compactas y duras, sobre las cuales la edafogénesis ha sido difícil con la consecuente evolución de suelos raquíuticos (leptosoles).

8.3.1.1. La agrupación del andosol úmbrico.

Además del citado andosol, esta agrupación incluye el leptosol lítico, que evoluciona en los ambientes boscosos de coníferas que cubren las laderas montañosas del Distrito Federal y de los municipios septentrionales de Nicolás Romero, Tlazala y Jilotzingo (fig. 8.2). La peculiar resistencia de la materia orgánica proporcionada por los abetales y pinares aunado a la inhibición de las acciones bacterianas debida a las bajas temperaturas ralentiza el proceso de mineralización, resultando amplios horizontes superficiales de acumulación de

materia orgánica fresca (A0) o mal humificada (A1). Ello asegura, por otra parte, una continua producción de los complejos orgánicos resistentes que resultan de unión entre la materia vegetal de desecho y el alófono mineral y que confieren al suelo una estructura firme.

Por otra parte, la andosolización bajo condiciones de gran humedad que existe en las montañas adquiere tintes particulares, toda vez que acontece bajo condiciones anaeróbicas que no se presentan en otros ámbitos. El caso más notable se da en los rellanos turbosos que se extienden al pie de las cimas montañosas, -como son el Llano Grande al pie del cerro Las Palomas y los llanos del curso alto del río La Magdalena-. En ellos el drenaje deficiente permite la saturación de agua en detrimento del contenido de oxígeno, que, sumado a las bajas temperaturas, favorece las reducciones y la evolución de horizontes húmifero-turbosos de hasta más de 0,5 m de espesor, siendo posible suponer que algunos suelos presenten propiedades gléicas. El permafrost afecta a estos suelos dentro de los primeros 50 cm desde la superficie -aunque el límite teórico de su influencia se sitúa en los 200 cm-.

En ciertos enclaves de fuerte declive, pero sobre todo, en las morfoesculturas escarpadas de frágil estabilidad, las capas de ceniza volcánica han sido parcialmente removidas por erosión, dando lugar al afloramiento del roquedo compacto de andesita. En ellos, los andosoles son de estructura poco evolucionada -del tipo A/C- y suelen contar con la presencia de fases líticas; incluso, cuando la morfogénesis domina de forma permanente, el *solum* es sistemáticamente desmantelado por erosión, impidiendo una evolución edáfica más avanzada y la formación de leptosoles líticos (figs. 8.1 y 8.2).

8.3.1.2. La agrupación del andosol háplico.

El ambiente ecogeográfico propio de los andosoles háplicos es similar al descrito en el caso anterior, aunque muestra una situación relativamente distinta por lo que se refiere a los aportes orgánicos. La transición del piso de las coníferas al de las latifoliadas -que ocurre en torno a la cota 2700 msnm- supone una menor resistencia de la materia orgánica a las alteraciones bioquímicas, el decremento en la formación de complejos orgánicos de estructura firme y la aceleración de

los procesos de integración de esta materia en el suelo (es decir, favorece una mejor humificación). De este modo la estructura del suelo se torna más frágil y la lixiviación de sustancias se hace más efectiva, llevando al característico empardecimiento del perfil (fig. 8.2).

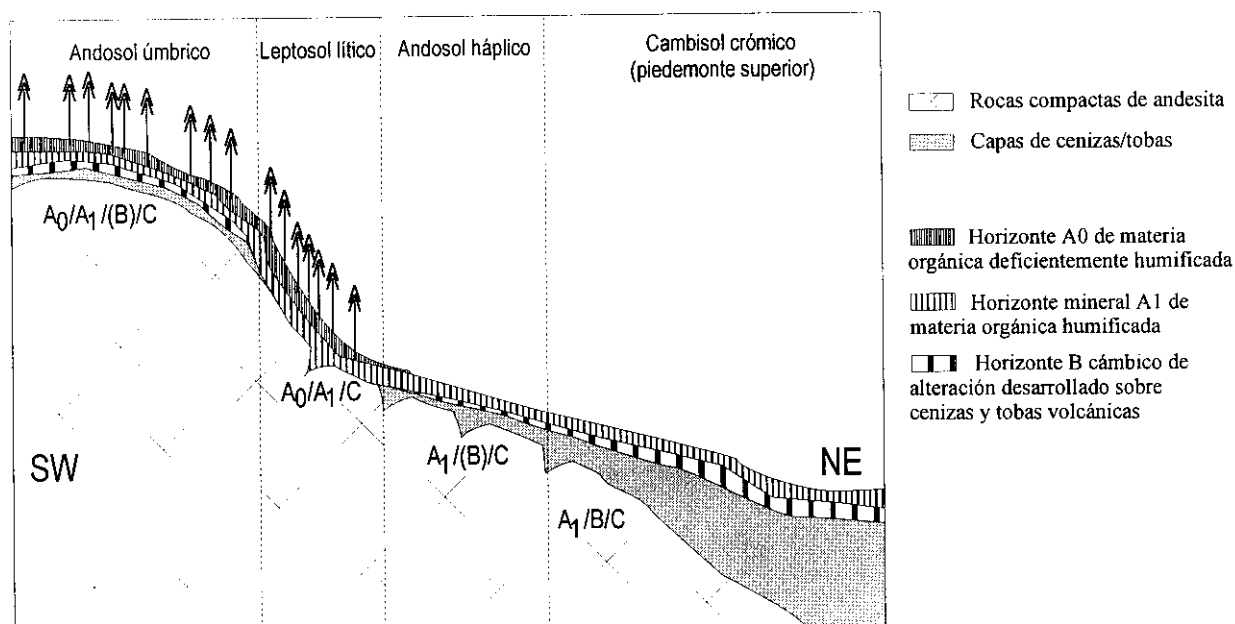


Figura 8.2. Perfil esquemático que representa la secuencia topoedafológica de las laderas montañosas.

De otro lado, los desmontes merman los aportes orgánicos a los suelos sobre materiales cineríticos. Esto ocurre sobre todo en las áreas montañosas centrales, correspondientes a las cuencas altas de los ríos Hondo, Totolinga, Los Cuartos y Canaleja. Debido a estas acciones antrópicas, la edafogénesis de los que fueron andosoles úmbricos ha cambiado de estilo y en la actualidad la falta de aportes orgánicos favorece una mejor y más completa mineralización y lixiviación, imposibilitando la evolución de los horizonte orgánico (A0) en superficie (fig. 8.2). En consecuencia, numerosos andosoles úmbricos tienden en la actualidad a empardecir sus perfiles y por ende a la evolución de la variante háplico. De la misma forma que en el caso anterior, una pérdida en la estabilidad del medio a favor de la morfogénesis puede llevar al desmantelamiento de los horizontes

superficiales de los andosoles y a la formación, por este medio, de suelos degradados del tipo de los leptosoles.

8.3.1.3. La agrupación del leptosol lítico.

Los leptosoles son un tipo edáfico ampliamente extendido en las laderas montañosas de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo. Se distribuyen en los mismos ambiente forestales que ocupan los andosoles, aunque ocupando los tramos rocosos y de topografía escarpada, de los que son representativas las cabeceras de los ríos Cuautitlán, La Cañada del Silencio y La Magdalena. En estos terrenos agrestes existen pequeños enclaves rellenos de cenizas volcánicas o de materiales residuales sobre los cuales la edafogénesis lleva a la evolución de suelos delgados y poco diferenciados, que carecen del horizonte B, y donde que el horizonte A. comúnmente rico en materia orgánica, reposa directamente sobre el C.

La gran dinámica natural del medio montano y en particular las características derivadas de un relieve heterogéneo y les los importantes excesos hídricos que en él se generan colocan a los andosoles y leptosoles en situación de frágil equilibrio ante las acciones humanas. Este equilibrio se pierde con especial facilidad en los enclaves deforestados, comúnmente en los bordes de los caminos, donde la vegetación de bosque ha sido sustituida por malezas que no protegen al suelo con la misma eficacia que el bosque.

8.3.2. Los suelos de la rampas centrales y Sur, desarrollados sobre piroclastos y materiales detríticos de textura gruesa.

En la porción de la rampa que se extiende al sur de los la alineación transversal de los cerros Gachupín y Chiluca, y dentro de la que se incluyen las pequeñas elevaciones de Totoltepec, Moctezuma y El Judío, la organización espacial de los suelos es más compleja que en cualquier otro lugar de la vertiente estudiada. En este espacio centro-meridional, regosoles, andosoles, leptosoles, cambisoles, luvisoles, antrosoles y fluvisoles se distribuyen configurando una intrincada red de mosaicos edáficos difícil de cartografiar a nuestra escala de trabajo. Por ello,

como ya se ha dicho anteriormente, se han formado agrupaciones de suelos que, en este caso son tres y están representadas, una, por el cambisol crómico, otra, por el vertisol crómico y, la tercera, por el regosol eútrico (cuadro 8.1).

8.3.2.1. La agrupación del cambisol crómico.

Esta agrupación que incluye, además del cambisol crómico -que es la unidad más característica-, los andosoles háplicos y los antrosoles úrbicos es característica de dos franjas discontinuas: una, más extensa, que abarca una porción de la base de las montañas y otra que se localiza en la parte superior de la rampa, al pie de los macizos de Las Cruces y de San Miguel. En éstas afloran potentes depósitos de tobas retrabajadas, de textura fina, alterados por descalcificación y susceptibles de liberar hierro, los cuales son favorables a la génesis de suelos en los que el horizonte B de tipo cámbico evoluciona a partir de la alteración del horizonte C, teñido de una tonalidad rojiza por la acumulación de óxidos de hierro.

La topografía agreste, en coordinación con una litología rica en elementos arcillosos que limitan la permeabilidad, desempeña un papel sustancial al favorecer los lavados superficiales en detrimento de los procesos de infiltración, lixiviación y lavado de sustancias y arcillas al interior del perfil y su consecuente acumulación en los horizontes superficiales (que, sin embargo, tienen una alta capacidad para retener agua en los intersticios). Además, al tratarse de materiales poco cohesivos, su emplazamiento en laderas empinadas incrementa la susceptibilidad a la erosión por arroyada, deslizamientos y solifluxiones, fenómenos que adquieren mayores magnitudes en el interior de algunas cabeceras de arroyos muy activos, como el de Los Remedios. Estos suelos son también muy vulnerables cuando el hombre modifica sus ámbitos naturales, como se observa de forma evidente en los entornos de los pueblos Texcalatlaco y Chichicaspa, donde el abarrancamiento ha dado pie a la evolución de *badlands* (ver apartado I.5) (fig. 8.1).

Otros suelos codominantes con los cambisoles son los andosoles háplicos y, en menor grado, los antrosoles úrbicos. Los andosoles pueden incluso dominar a los cambisoles en terrenos cubiertos por capas delgadas de ceniza volcánica que

permanecen resguardadas de la erosión en el interior de rellanos topográficos y nichos de topografía deprimida. Pero sobre las laderas afectadas por antropismo (incluso las ocupadas desde tiempos relativamente recientes) la frágil estabilidad del medio suele estar rota, con la consecuente transformación del sistema edafogénico e incluso, con la sustitución de las unidades originales por antrosoles, un tipo edáfico ya frecuente en laderas de valles y barrancos, donde ocupan los sitios morfodinámicamente más activos y de más difícil regeneración.

8.3.2.2. La agrupación del luvisol crómico.

Esta agrupación, que incluye -además del luvisol crómico- las dos variedades de andosol, se distribuye ampliamente en la parte superior de la rampa, por lo general sobre piroclastos de textura gravosa o más fina y alterados bajo un régimen climático más cálido que el actual. La edafogénesis de este extenso sector se ha visto condicionada por una topografía menos accidentada, característica de las cuencas de los ríos Tlalnepantla y Córdoba (en el sector comprendido entre los pueblos de Córdoba y Ayucan) y Aramitza y San Francisco (en los altos llanos de Huixquilucan) (fig. 8.1).

La influencia de un relieve más regular y de morfogénesis más tranquila ha tenido en términos generales dos efectos fundamentales en la edafogénesis. Por una parte, ha permitido la evolución de andosoles úmbricos y háplicos sobre los depósitos de cenizas que no fueron removidos por la erosión y, por otra, ha favorecido una mejor percolación y lavado de los minerales arcillosos y, con ello, el desarrollo de suelos lavados y profundos que tienen como elemento distintivo un horizonte B iluvial de acumulación. Los aportes pluviales relativamente abundantes (en torno a 1300 mm anuales por término medio) son esenciales para la evolución de estos suelos y participan en la generación de excesos hídricos que asimismo son importantes para la génesis de otra unidad edáfica que tiene alguna presencia en la agrupación, la de los fluvisoles eútricos. Estos últimos tienen un papel secundario en ella, ya que su distribución está restringida al interior de las llanuras de inundación -particularmente extensas en los ríos San Francisco y Aramitza- y de los abanicos aluviales, entre los que destaca el área de confluencia donde se asienta el pueblo de Córdoba.

Pese a la estabilidad derivada de topografía plana o alomada de los ámbitos en que se encuentran, los vertisoles y andosoles son de estructura frágil en estado húmedo, por lo que, si quedan desprotegidos, permiten fácilmente la apertura de regueros y el desarrollo de formas de acarcavamiento. En los entornos agrícolas y habitacionales, como ocurre en Tepatlaxco, el hombre ha eliminado la protección de una cubierta forestal, favoreciendo la compactación de estos suelos y por ende el desarrollo de estas formas de erosión ligadas a la escorrentía superficial. Si bien es posible encontrar antrosoles en esta agrupación -máxime porque las actividades agrícolas y rurales implican la irremediable generación de desechos- no se han incluido en ella con la finalidad de resaltar el carácter básicamente rural de las áreas que ocupa.

8.3.2.3. La agrupación del regosol eútrico.

La porción media y baja de las rampas centrales y meridional se caracteriza por su diversidad, ya que en ella entran en juego una gran variedad de condiciones ambientales derivadas de la topografía quebrada de valles y las lomas, del afloramiento de vulcanoclastos de distintas características, del diverso tipo y la densidad de la cobertera vegetal, de los usos de suelo agrícolas y habitacionales, etc., todo lo cual se traduce en una compleja y matizada distribución de los suelos. En esta amplia superficie de piedemonte coexisten seis unidades edáficas: regosol eútrico, andosol úmbrico y háplico, leptosol lítico, fluvisol eútrico y antrosol úrbico. Entre ellas destaca el regosol que, si bien no es siempre el tipo predominante, está mejor representado aquí que en cualquier otra parte de la vertiente, razón por la que se le ha adoptado como representante de la agrupación (cuadro 8.1).

No obstante la citada diversidad de tipos edáficos, la distribución espacial de éstos denota una organización lógica y relativamente sencilla que responde de forma prioritaria, aunque no exclusiva, a los cambios topográficos. En la figura 3 se aprecia cómo en las superficies planas o alomadas -y estables- propias de las plataformas interfluviales y de los domos la edafogénesis depende en primera instancia de la susceptibilidad de las rocas a la alteración: así, mientras los andosoles háplicos se dan sobre mantos cineríticos sueltos más susceptibles a la

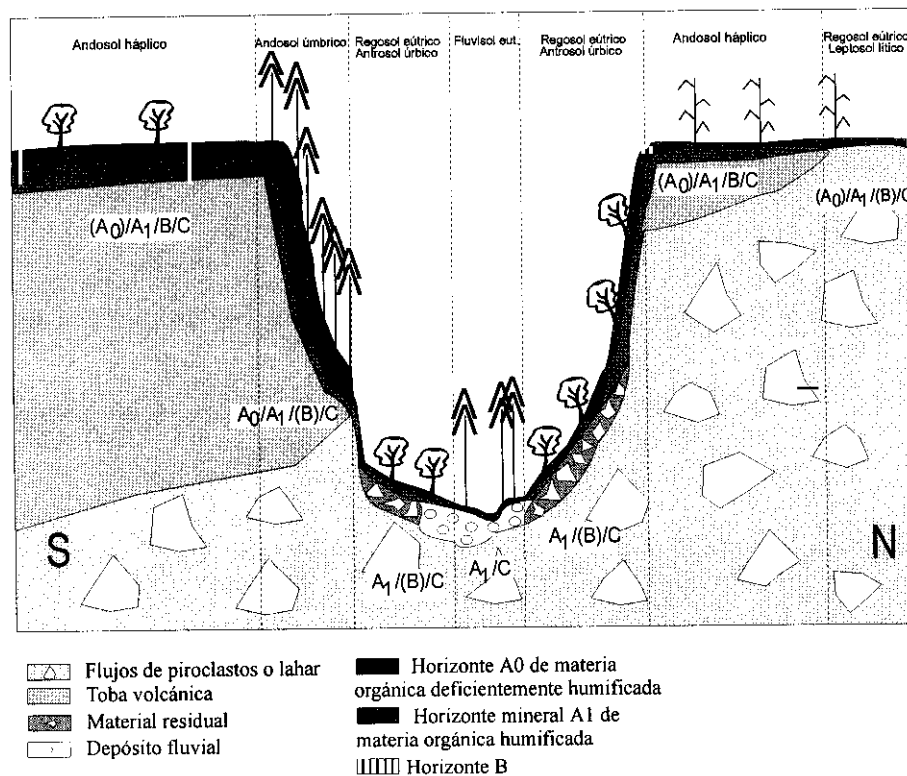


Figura 8.3. Perfil esquemático que representa la secuencia topoedafológica a través de un corte transversal a un barranco en el sector Las Cruces.

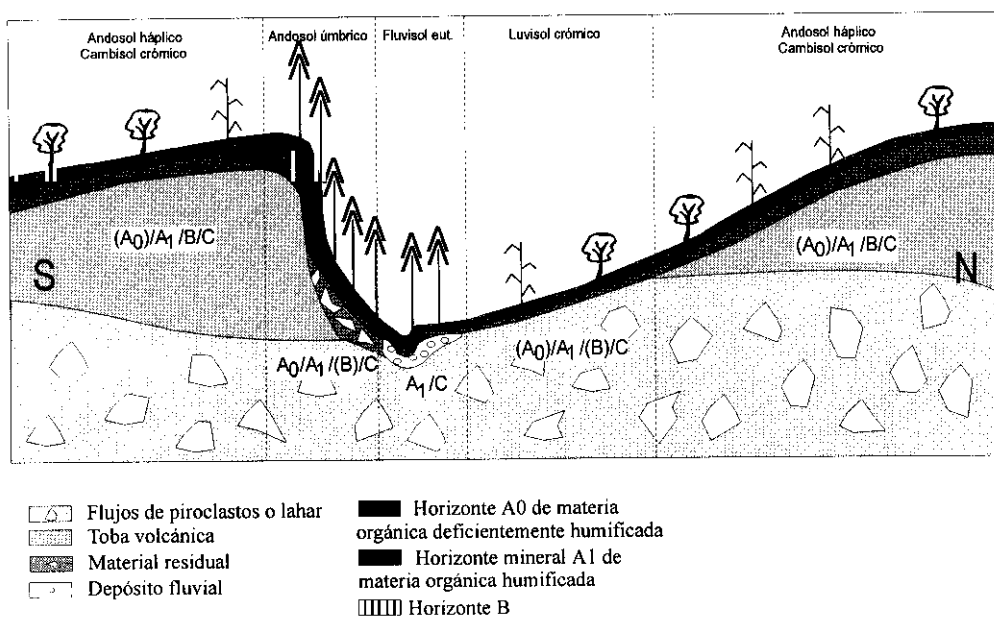


Figura 8.4. Perfil esquemático que representa la secuencia topoedafológica a través de un corte transversal a un valle asimétrico del sector Catedral.

meteorización, los leptosoles líticos y los regosoles eútricos lo hacen sobre depósitos fuertemente cementados de flujos piroclásticos y lahares, así como sobre algunos afloramientos lávicos o antiguos andosoles en fases líticas.

Las superficies alomadas y abiertas que constituyen el área de esta asociación de suelos están intensamente deforestadas y se encuentran entre las más cálidas de la vertiente; la vegetación tiene en ellas grandes dificultades para regenerarse y las formaciones edáficas, porosas y bien aireadas, se ven sometidas a procesos de humectación-dsecación y de oxidación, así como a una importante actividad microbiana que activa las mineralizaciones, dando lugar al empobrecimiento orgánico y el empardecimiento del perfil.

Por el contrario, en el interior de los valles y barrancos el clima es más fresco y la mejor conservación de los bosques de encinos permite la evolución de andosoles úmbricos recubiertos por un *mull* neutrófilo, con horizontes orgánicos (A0) y minerales con importante contenido en humus (A1). Sin embargo, el intenso modelado que afecta a las laderas empinadas de estos surcos implica la presencia de procesos erosivos adversos a la edafogénesis y limita la evolución de los suelos (fig. 8.3). De este modo los regosoles son la unidad edáfica dominante en estas laderas bajas, así como en los abanicos y taludes coluvionares no consolidados y de escasa profundidad, donde, dados los constantes aportes que proporciona la dinámica de vertientes, están sometidos a un permanente proceso de rejuvenecimiento.

Los antrosoles úrbicos son otra unidad de extensa distribución en esta parte de la vertiente, apareciendo como enclaves numerosos y dispersos en las barrancas semiurbanizadas del Distrito Federal, de Huixquilucan y de Naucalpan. Aunque se desarrollan en cualquier sitio asociado con las actividades humanas de tipo urbano, su presencia es más abundante y reiterada en el interior de los valles, donde evolucionan a partir de escombros, basura o cualquier otro tipo de desechos antrópicos acumulados por infinidad de causas. Los fluvisoles, en cambio, son escasos en un medio tan dinámico, dominado por un régimen erosivo de tipo torrencial, estando por ello limitada su evolución a las estrechas terrazas que se forman en el fondo de los valles y barrancos de los principales ejes de la esorrentía superficial; dado que en la actualidad estas unidades geomorfológicas están siendo afectadas por los aprovechamientos agrícolas y el

régimen hidrológico de los ríos se encuentra muy trastocado por el hombre, es de suponer que la génesis de estos fluvisoles se ve afectada por una clara decadencia.

La susceptibilidad a la erosión de los diversos tipos de suelo que constituyen esta agrupación es variable y depende en primera instancia de la estabilidad morfodinámica de las laderas, condicionada a su vez por los rasgos topográficos, por el grado de cohesión de la roca madre y por el estado global de la cobertura vegetal. En este sentido se puede admitir que todas las unidades edáficas descritas están en mayor o menor grado afectadas por erosión, pero que son los andosoles y los regosoles las más afectadas. Al ser propios de ambientes de ladera, se encuentran en un estado permanente de inestabilización, donde los procesos erosivos se concentran estacionalmente bajo el efecto de las lluvias torrenciales del verano.

8.3.3. Los suelos de la rampa Norte, desarrollados sobre piroclastos y materiales detríticos de textura fina.

La morfología extensa y largamente tendida de la rampa Norte, donde el territorio muestra una cierta homogeneidad topográfica dominada por suaves lomeríos y amplios valles disimétricos, hace que los contrastes ambientales estén más suavizados y que, en consecuencia, la distribución de los suelos resulte menos complicada que al sur del río Tlalnepantla, presentándose sólo dos agrupaciones, la agrupación del luvisol crómico -en la que se presentan como secundarios el andosol háplico y el fluvisol eútrico- y la agrupación de los vertisoles eútricos -que tiene como suelos secundarios al fluvisol eútrico y al antrosol úrbico-.

8.3.3.1. La agrupación del luvisol crómico.

Es la agrupación de suelos que ocupa la porción superior de la rampa Norte, en su área de enlace con los relieves montañosos del macizo Catedral -por encima de los 2400 msnm-, correspondiendo con el piedemonte superior o volcánico de la sierra. En este sector, el afloramiento de tobas y piroclastos de textura fina

ricos en hierro y en minerales alterables, unido a la relativa suavidad topográfica y al alto volumen de las precipitaciones (entre 1000 y 1200 mm de media anual) otorgan gran entidad a la alteración química de los materiales, así como a los procesos de lixiviación de sustancias y al lavado de minerales arcillosos; ello permite la evolución de suelos profundos de tipo luvisol, caracterizados por la existencia de un horizonte Bt de acumulación de arcillas.

Se interpreta que la formación inicial de éstos se produjo en tiempos pasados del Pleistoceno bajo condiciones climáticas más cálidas que las presentes, pero afectadas por un régimen de lluvias muy contratado de tipo torrencial, que permitieron, por un lado, una importante actividad bioquímica con eficaz producción de arcillas de neoformación y de bases y, por otro, una acumulación de estos productos durante periodos de sequía en los horizontes superficiales del perfil. Pero en la actualidad la ferruginización -uno de los principales procesos del pasado- se ha suavizado y dado paso a la fersialitización, en tanto que las percolaciones más intensas llevan a la evolución de perfiles mejor lavados. Se localizan estos luvisoles crómicos en las laderas tendidas de los valles asimétricos, sobre todo en las partes medias y bajas, donde se generan favorablemente excesos hídricos a los que se suman los flujos superficiales y subsuperficiales que bajan de las lomas y plataformas interfluviales; en cambio, sobre las superficies culminantes de éstas, donde es común el afloramiento de cenizas alteradas que no han sido dismanteladas por erosión, evolucionan andosoles de tipo háplico.

Como se señaló en los apartados referentes a la organización topográfica y geomorfológica del territorio, estas laderas tendidas de los valles disimétricos, y también las superficies que los separan, se orientan al sur y han sido desprovistas de gran parte de su vegetación natural, por lo cual son relativamente más cálidas y están más expuestas a las acciones de arrastre de partículas por el viento. Tanto en unas como en otras predomina una intensa mineralización de los aportes orgánicos que, además, proceden de coberturas vegetales escuetas de tipo arbustivo, de pastizales de gramíneas o de cultivos. Como resultado de ello los horizontes superficiales de los luvisoles, y de los andosoles que se asocian a ellos, adquieren cromas altos y estructuras débiles, resultando susceptibles a la acción destructiva de los procesos de modelado. Un sector que destaca en este sentido abarca las cuencas de los ríos San Pedro y

Santa Ana, donde la destrucción por acarcavamiento de los extensos campos de luvisoles pone en peligro las actividades agrícolas de algunos asentamientos, como Progreso Industrial (figs. 8.1 y 8.4).

En contraste, las laderas de valle que miran al norte presentan una evolución edafogenética distinta, toda vez que su topografía sistemáticamente empinada las ha protegido del antropismo, permitiendo la conservación de las cubiertas forestales, que las proporcionan ambientes sombreados y frescos, con constantes aportes de materia orgánica al suelo. Debido a ello, sobre los mantos cineríticos que en ellas afloran han evolucionado andosoles úmbricos y andosoles háplicos, dependiendo la aparición de unos u otros del volumen de los aportes orgánicos y de la resistencia de éstos a la descomposición (lo que depende de la composición de las formaciones arbóreas, que pueden ser sólo de encinos o mixtas de encinos y coníferas).

En lo tocante a los fluvisoles eútricos hay que señalar que, si bien se hallan mejor representados en este piedemonte septentrional que en cualquier otra parte de la vertiente estudiada, desempeñan en él un papel secundario, ya que su presencia está limitada al interior de las llanuras de inundación de los valles importantes -San Pedro, Cuautitlán, Santa Ana y Xinté-, así como a los abanicos aluviales que se forman al pie de los barrancos mayores. Tanto estos suelos como los luvisoles son propios de ambientes que con frecuencia están saturados y por ende están sujetos a riesgos relacionados con procesos de gravedad asistidos por agua -como deslizamientos, asentamientos y reptaciones- que, sumados a las acciones de arroyada limitan la estabilidad del sistema edáfico. Lo mismo que ocurre en Tepatlaxco, Córdoba y Huixquilucan -en las rampas centrales y Sur-, los campos de luvisoles de los entornos a Progreso Industrial son altamente susceptibles al abarrancamiento y formación de *badlands*.

8.3.3.2. La agrupación del vertisol eútrico.

Los vertisoles eútricos son suelos poco comunes, ya que su área de distribución -el piedemonte inferior de la rampa Norte- se concentra por debajo de los 2400 msnm, estando la mayor parte de ella cubierta por las construcciones e infraestructuras del área urbana de la ciudad de México; el único sector donde

no han sido destruidos o sepultados y su evolución se mantiene vigente corresponde a los entornos de la Presa Guadalupe. Estos suelos resultan de procesos edafogenéticos que sólo se desarrollan cuando coinciden unas condiciones litológicas y climáticas que no se dan nada más que en la base de esta porción septentrional de la vertiente estudiada.

La primera de estas condiciones es el afloramiento de detritos de textura fina correspondientes a extensos abanicos aluviales y de capas cineríticas procedentes de las erupciones pleistocénicas, enriquecidos en carbonatos y sílice arrastrados por las corrientes de agua desde las partes altas de la sierra. El conjunto de estos materiales fundamentalmente detríticos ha sido meteorizado, resultando de ello la neoformación de arcillas -comúnmente montmorillonitas- dotadas de alta capacidad expansiva, que resultan básicas para la edafogénesis de los vertisoles. La segunda de las condiciones es el clima subhúmedo con marcado contraste pluviométrico estacional característico la base de la sierra, el cual permite la existencia de dos tipos de dinámica edafogenética a lo largo del año: uno es característico de la estación cálido-lluviosa y consiste en la saturación del *solum* acompañada del proceso de expansión de las arcillas, por lo que, no obstante la suavidad del terreno (menos de 2° de declive), las percolaciones no son intensas y es posible la acumulación superficial de elementos de Ca, Si, Al y Fe; el otro es propio la mitad del año en que las lluvias son escasas y buena parte de las reservas de agua son utilizadas por la vegetación hasta causar una desecación superficial, como consecuencia de la cual se produce la contracción de las arcillas acompañada por apertura de grietas, rubefacción, formación de niveles de concentración de cal, etc. Desde luego, en estas condiciones la formación de horizontes gléicos está excluida.

Por su parte, los fluvisoles que acompañan a los vertisoles en la parte inferior de la rampa Norte son una unidad edáfica de importancia secundaria, toda vez que su ámbito de distribución está limitado al interior de las llanuras de inundación, donde el riego y el empleo de fertilizantes para la actividad agrícola mejoran las condiciones naturales de percolación e incrementan la basicidad, todo lo cual limita la evolución de vertisoles. Además estos fluvisoles se ven seriamente afectados por el proceso de urbanización de la sierra, siendo de resaltar el caso de la llanura aluvial del río San Pedro -aguas abajo de Progreso Industrial-, donde los extensos campos de fluvisoles que debió albergar en el pasado están

ahora sepultados por las cada vez más dinámicas urbanizaciones de Nicolás Romero. En contraste, los antrosoles úrbicos se extienden con rapidez, desarrollándose sobre los desechos dejados tras las obras de construcción de unidades habitacionales y sobre los entornos de basureros ilegales en el interior de los valles y barrancos.

De todos modos, aunque la protección vegetal arbórea ha sido eliminada casi por completo, el potencial erosivo es en realidad bajo debido a la planitud de estas tierras del piedemonte inferior. Además, el comportamiento de los suelos en estado seco es de gran dureza, pudiendo ser apreciados en cortes verticales de varios metros sin que se formen depósitos coluviales al pie. Sin embargo, los luvisoles pueden presentar serios problemas para su aprovechamiento agrícola, sobre todo relacionados con pérdidas de la materia orgánica, deficiencias de drenaje e inundaciones.

8.3.4. Los suelos de la sierra del Tigre y del cerro Atlaco, desarrollados sobre piroclastos y rocas compactas alteradas.

El conjunto de prominencias que se levanta al norte de la presa Madín, en el municipio Atizapán de Zaragoza, constituye uno de los sectores edafológicamente más desfavorecidos de la vertiente. La falta de vegetación y el modelado intenso de las laderas conforman un medio contrario a la evolución de suelos, los cuales son por ello poco evolucionados, delgados y de estructura sencilla, identificándose una sola agrupación, la del regosol calcárico (cuadro 8.1).

8.3.4.1. El grupo del regosol calcárico.

Además del regosol que la da nombre esta agrupación tiene como suelos secundarios a los leptosoles líticos y a los antrosoles úrbicos, ambos poco evolucionados, escuetos y discontinuos como resultado de ambientes geomorfológicamente adversos. El relieve de la sierra del Tigre, si bien es poco prominente, está dominado por formas agrestes de cabeceras torrenciales activas que casi se tocan en las agudas divisorias de los cerros Madín y Calacoaya. En

dichas formas la arroyada y los fenómenos de gravedad son frecuentes y dificultan en extremo la evolución del *solum*. Esta fuerte inestabilidad se debe a una serie de factores entre los que la litología desempeña un papel preponderante: aunque los afloramientos de rocas volcánicas antiguas y muy alteradas que constituyen estas elevaciones son altamente sensibles a los procesos edafogénicos de tipo bioquímico, tienen también una altísima susceptibilidad al ataque de los procesos externos del modelado. Como resultado de esta contraposición entre fuerzas formadoras y formas destructoras del suelo, la edafogénesis en su conjunto resulta un proceso lento y con frecuentes retrocesos.

Por otra parte, el clima templado y subhúmedo que caracteriza la base de la vertiente, en la que se ubican los citados relieves, tiene un doble significado en la edafogénesis. Por una parte, hace posible la permanencia de ambientes moderadamente cálidos y desaturados que favorecen la oxigenación y la actividad bacteriana y, por ende, la mineralización de la materia orgánica. Pero por otro lado, el marcado régimen estacional de las lluvias favorece en gran medida la dinámica erosiva propia del verano; y además permite la formación niveles de acumulación de cal, fundamental para la evolución de los regosoles calcáricos. También la cubierta arbustiva de plantas espinosas con pies arbóreos de encino muy dispersos brinda una ineficiente protección a los suelos y coadyuva a una mejor insolación de las superficies y, como los aportes orgánicos son escasos -en este medio altamente mineralizante-, se puede decir que hay escasez de acumulaciones orgánicas en los horizontes superficiales.

Finalmente, cabe señalar que las condiciones bioclimáticas denotan unos rasgos ciertamente parecidos a las de carácter semiárido que -como se ha dicho antes- debieron dominar en una porción extensa del área de estudio durante el Pleistoceno tardío. Por ello, se puede inferir que este estilo edafogénico que prevalece en la sierra del Tigle y el cerro Atlaco tiene un inicio muy antiguo y que las mayores diferencias respecto del pasado pueden responder en la actualidad a los matices creados por efecto del antropismo, entre cuyas acciones más nefastas está la eliminación del suelo debida a la actividad extractiva y a la construcción de unidades habitacionales y, en segundo término, el desencadenamiento de procesos que aceleran la morfogénesis o incrementan la acidez, cambiando el rumbo de la evolución edáfica. Dada la cercanía al área

urbana, los antrosoles úrbicos sustituyen a los regosoles y leptosoles en un proceso acelerado.

8.4. Conclusiones.

La organización de los suelos se muestra como uno de los aspectos más complejos del entramado que subyace a la estructura paisajística de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, toda vez que es el resultado más sintético de la interacción del vasto conjunto de componentes abióticos, bióticos y antrópicos que integran el medio. Su nivel de dependencia es, pues, alto y sin duda superior al de la vegetación y del antropismo (cuyo papel como factores de la edafogénesis y de la distribución de los suelos es de gran importancia).

Con base en el sistema de clasificación de la F.A.O. (1991), se se han reconocido nueve unidades de suelo, cuya distribución en el territorio es muy matizada y se da a manera de mosaicos complicados y difíciles de cartografiar a escala media. Por ello, se han formado las agrupaciones de suelos que, denominadas según la unidad de suelo predominante, son: la del andosol úmbrico, la del andosol háplico, la del leptosol lítico, la del cambisol crómico, la del regosol eútrico, la del regosol calcárico, del luvisol crómico y la del vertisol eútrico.

Como corresponde a un ámbito volcánico cuaternario, caracterizado por un relieve agreste y por unos substratos particularmente deleznales, los procesos edafogenéticos son en la vertiente más bien lentos y se encuentran continuamente interrumpidos por el modelado externo. En consecuencia, los suelos son por lo general poco evolucionados y diferenciados, de escaso espesor y bastante semejantes en su estructura y química a los materiales de partida. Sin embargo, se han podido apreciar variaciones y contrastes edafogenéticos en las distintas partes de la vertiente.

En las altas laderas montañosas y en algunos enclaves resguardados de las lomas pedemontanas, sobre los mantos cineríticos y tobáceos que se acumularon con las últimas erupciones pleistocénicas, aparecen los andosoles, que evolucionan

en medios de topografía relativamente accidentada, semifríos y lluviosos. Para su desarrollo la vegetación de coníferas es fundamental, toda vez que participa en la formación de compuestos orgánicos muy resistentes y en la acumulación de excedentes orgánicos, propio de los andosoles úmbricos. Sin embargo, el sistema de estos últimos suelos es frágil y la sustitución de los bosques por otro tipo de vegetación causa un giro en la edafogénesis, que pasa a ser regida por una menor acumulación de materia orgánica y por una lixiviación más completa, que lleva a la evolución de los andosoles háplicos, menos ácidos y de tonos empardecidos.

Pero en las amplias extensiones de fuerte pendiente topográfica, sobre los roquedos compactos de lava, así como en algunos sectores de las lomas pedemontanas donde afloran ciertos flujos de piroclastos cementados de alta resistencia a la edafogénesis, predominan los suelos poco profundos y escasamente diferenciados del tipo del letptosol lítico.

Por su parte, en la franja superior de la rampa de enlace que bordea y limita al macizo montañoso Las Cruces afloran depósitos de toba volcánica previamente oxidados y descalcificados bajo condiciones de meteorización pleistocénicas, que han limitado la andosolización y favorecido la evolución de espesos horizontes B propios de cambisoles eútricos. Se dan éstos en ambientes muy accidentados y dinámicos, donde el lavado de los horizontes superficiales es un proceso frecuente que asegura el continuo dismantelamiento de los horizontes superficiales y el rejuvenecimiento de los suelos. Pero por debajo de dicha franja, en la porción de la rampa que enlaza con la base de la sierra y al sur del río Tlalnepantla, los andosoles y el regosol eútrico están mejor difundidos; es éste muy representativo del interior de los valles, ya que se desarrolla sobre los depósitos coluvionares que tapizan las laderas de los mismos. Mientras, en la sierra del Tigre la variedad regosol calcárico el suelo la más común sobre los roquedos muy antiguos triturados y alterados. En todo caso, el elevado dinamismo geomorfológico de estos sectores centro-meridionales condiciona una edafogénesis lenta y pausada, con un permanente rejuvenecimiento.

Sin embargo, al norte del río Tlalnepantla la edafogénesis ha sido más completa sobre los territorios de piedemonte. En la rampa Norte, comparativamente menos agreste y con un roquedo significativamente más fino, granuloso y suelto,

se registra una mayor eficiencia de las percolaciones, las lixiviaciones y los lavados, que se constituyen como los procesos fundamentales. Dentro de este ámbito los luvisoles crómicos se desarrollan sobre depósitos piroclásticos previamente alterados y bajo condiciones pluviométricas estacionales pero abundantes, alcanzando una notable profundidad y diferenciación aunque son altamente susceptibles al abarrancamiento. En las porciones más bajas, que forman los entornos de la presa Guadalupe, los efectos de la estacionalidad pluvial se hacen muy marcados, por lo que los aportes de agua al suelo decrecen en el invierno y condicionan la acumulación de arcillas expandibles cerca de la superficie del terreno, lo que es fundamental para la evolución de los vertisoles eútricos.

En un área donde la arroyada tiene una gran importancia, los fluvisoles son - como era de esperar- escasos. Se presentan en las llanuras de inundación, estrechas por lo normal y que sólo alcanzan mayor extensión en la rampa Norte, así como en algunos remansos topográficos que se asientan a distintos niveles altitudinales dentro de algunos cursos principales como los de los ríos Cuautitlán, San Pedro, Tlalnepantla y Hondo.

En todos los casos se ha reconocido la gran importancia del hombre y sus actividades en la organización edáfica de la vertiente, siendo particularmente manifiestas las graves consecuencias que han tenido los cambios de uso y en particular la sustitución de la vegetación forestal, la alteración de los patrones hidrológicos y la consecuente incentivación de los volúmenes de escorrentía en detrimento de las infiltraciones. Estas alteraciones humanas que afectan al suelo tienen características distintas en los dos grandes ámbitos que constituyen el área: la montaña y la rampa de piedemonte. En la "montaña", la deforestación y la modificación de los patrones hidrológicos lleva a una reducción en los aportes orgánicos y a un incremento las escorrentías superficiales. Una estructura característicamente débil de los suelos favorece una acción efectiva de la lixiviación, con evolución de horizontes empardecidos. En la rampa que constituye la parte baja de la vertiente los aspectos más trascendentales son la eliminación física de los suelos ándicos por el hombre, así como la inclusión de los antrosoles úrbicos como una de las unidades presentes en las agrupaciones de suelos de la rampa de enlace y de la sierra del Tigre.

Aunque desafortunadamente la escala de trabajo y la complejidad de la distribución espacial impidieron una evaluación de la expansión actual de estos antrosoles, constituyen sin duda un tipo ampliamente representado y en creciente expansión. Hay que recordar que la existencia y abundancia de estos suelos nos hablan de altos valores de acumulación de bases o acidificación y en particular de la nitrificación y de la mayor carencia de materia orgánica, aspectos que tienen efectos revertidos sobre otros componentes del medio y en particular sobre la vegetación que, como se ha dicho, constituye, junto al suelo, el elemento más dependiente y sensible del medio ambiente y, por ende, el que manifiesta con mayor claridad el estado global de éste.



EL PUERTO DE

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

**DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS GEOGRÁFICO REGIONAL
Y GEOGRAFÍA FÍSICA**

**ANÁLISIS INTEGRADO DE PAISAJES EN EL
OCCIDENTE
DE LA CUENCA DE MÉXICO**

**(LA VERTIENTE ORIENTAL DE LA SIERRA DE LAS CRUCES,
MONTE ALTO Y MONTE BAJO)**



* 5 3 0 9 8 4 7 5 5 9 *

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE

53-371512-X

Tesis doctoral que presenta
D. ARTURO GARCÍA ROMERO bajo la
dirección del Dr. D. JULIO MUÑOZ JIMÉNEZ

Octubre de 1998.



APLICADA

22976

II

PARTE SEGUNDA: EL ANÁLISIS INTEGRADO DEL PAISAJE.

En el análisis del territorio que de forma sectorial se ha desarrollado en el capítulo precedente ha quedado manifiesta la amplia diversidad ambiental del área estudiada, resultado de su naturaleza montañosa y de su vinculación a un volcanismo relativamente reciente, que le confiere altos gradientes topográficos y ecológicos, y de las no menos importantes matizaciones que resultan de la violenta interacción entre el medio natural y la actividad humana que en él se registra. Desde luego, interpretar una realidad tan compleja como la que se nos presenta, aprehendiendo de forma global todos los elementos, las relaciones y las combinaciones funcionales que ocurren entre ellos, así como los flujos energéticos y de materia que en ella entran y de ella proceden, es un asunto complicado; un asunto que, de acuerdo con los planteamientos del Análisis Integrado de Paisajes, sólo puede ser resuelto si se apoya en el establecimiento de un sólido entramado taxonómico-corológico (Bertrand, 1968).

9. LA ESTRUCTURA TAXONÓMICO-COROLÓGICA DEL ÁREA Y EL ESTADO GENERAL DE LOS GEOSISTEMAS.

En esta etapa inicial y básica del análisis integrado propiamente dicho se aborda, en principio, la determinación del nivel que ocupa el área de estudio dentro del sistema de clasificación y jerarquización global de territorios, a fin de situarlo en el contexto más de las unidades mayores en que se encuadra y de reconocer los parámetros ecogeográficos fundamentales que lo diferencian. Asimismo, se define su estructura interna hasta el nivel taxonómico de las unidades fundamentales con expresión paisajística -las geofacies-, cada una de las cuales es de esta forma individualizada y ubicada en el lugar que le corresponde dentro del organigrama taxonómico general; esta labor taxonómica tienen como fundamento y punto de partida el resultado de los estudios sectoriales que de forma ordenada se han practicado en el Inventario geoecológico acerca de los diversos parámetros abióticos, bióticos y antrópicos que caracterizan la vertiente montañosa objeto de investigación. Finalmente, se presenta un primer

diagnóstico del estado de los geosistemas que se han diferenciado en ella, con lo que se pretende, por una parte, resaltar a grandes rasgos la situación actual de las potencialidades ecológicas y, por otra, evidenciar los tipos de acciones antrópicas que operan en el área, localizar sus ámbitos de actuación y evaluar inicialmente sus impactos.

9.1. Los fundamentos teórico-metodológicos de la taxonomía de áreas.

El sistema taxonómico-corológico que se ha aplicado es el formulado por Georges Bertrand en 1968, en el que se propone, de acuerdo con los que él llama “umbrales de manifestación” y de “extinción” de los componentes del medio, la integración de los territorios en una clasificación que comprende seis niveles corológicos de extensión decreciente, a los que denomina *zona*, *dominio*, *región natural*, *geosistema*, *geofacies* y *geotopo*. Las unidades territoriales o geocoras correspondientes a cada uno de ellos se diferencian no sólo por su escala dimensional sino también por el conjunto de propiedades geoeológicas que en ellas se manifiestan y que les son propias (De Bolós, 1981) (cuadro 9.1).

Unidad de paisaje	Escala espacio-temporal		Elementos del medio que definen las categorías
	Nivel*	Superficie Permanencia	
Zona**	I	millones de km ²	Grandes franjas climáticas y biomas del Planeta, que manifiestan la influencia del reparto de tierras. Ciertas megaestructuras de primer orden como los Andes.
Dominio**	II	miles de km ²	Climas regionales y grandes masas vegetales, relativos a grandes accidentes orográficos de dominio macroestructural.
Región Natural**	III-IV	decenas a cientos de km ²	Morfoestructuras individualizadas tectónicamente y definidas accesoriamente por un clima regional y unas condiciones hidrológicas, geomorfológicas y biogeográficas originales.
Geosistema	IV-V	unidades a cientos de km ²	Centenares de años. Complejo definido por un matiz regional que incluye una combinación más o menos de potencial ecológico, explotación biológica y acciones humanas.
Geofacies	VI	cientos de m ²	Formas de relieve de detalle sujetas al influjo de topoclimas y distinguibles por un cierto tipo de explotación natural o humana.
Geotopo	VII	decenas de m ²	Microtopografía y elementos biogeográficos (complejo biotopo-biocenosis), subordinados al influjo de un microclima.

* Niveles según la escala espacio-temporal de J. Tricart y A. Cailleux.

** Su significado en el contexto general del sistema taxonómico no ha sido precisado.

Cuadro 9.1. Sistema taxonómico corológico de Bertrand. Elaborado con base en G. Bertrand (1968), J. Muñoz (en prensa), J. Tricart (1981) y M. De Bolós (1981).

Los primeros rangos de la clasificación -zona, dominio y región natural- muestran con mayor claridad los rasgos geográficos macroestructurales de más

amplia manifestación espacio-temporal, pero en ellos resulta imposible discernir con precisión el rol de los componentes mesoestructurales, en especial el de los de carácter biótico y antrópico. Son por tanto, niveles escalares tan grandes que no es posible discriminar en ellos el contenido y la estructural global de las unidades de paisaje existentes en el área de estudio, ni apreciar la intensa dinámica que en el presente las afecta.

El **geosistema** se sitúa en una posición intermedia (nivel IV a V), manifestándose en el de forma suficiente y equilibrada la mayor parte de los componentes del sistema territorial y los dinamismos que resultan de su integración funcional. Debido a ello, y pese a no manifestarse como una unidad homogénea de paisaje -sino como una asociación de paisajes elementales espacial y dinámicamente relacionados-, el geosistema resulta lo suficientemente homogéneo e individualizado desde el punto de vista geoecológico como para ser considerado la unidad taxonómica territorial con mayor grado de integración o la “unidad geográfica fundamental”, como la denomina Martínez de Pisón (1983).

Efectivamente, sólo cuando el análisis se enfoca a la escala de estas unidades de unas decenas de Km² de extensión se vislumbra con un mayor grado de equilibrio la interacción entre los tres grandes subsistemas del complejo territorial. Por una parte, el **potencial ecológico**, que incluye los elementos abióticos (los morfoestructurales, climáticos, hidrológicos y geomorfológicos) que representan en sí mismos una parte de su riqueza y que son sustento físico; por otro, la **explotación biológica**, que abarca la naturaleza viva, representada por los suelos, los animales y las masas vegetales; y finalmente las **actividades humanas** (o antropismo), que se refiere a la ocupación y formas de aprovechamiento del medio por parte de la sociedad humana. Este último resulta particularmente influyente en el devenir de los paisajes del área que se estudia, toda vez que ésta se ubica en un ámbito altamente ecumenizado donde las ocupaciones habitacionales, la instalación de infraestructuras y las actividades agrícolas y extractivas implican en muchos casos serias alteraciones del sistema natural.

La constatación de elevado y creciente peso del subsistema antrópico en los geosistemas de la vertiente estudiada, que se manifiesta ya con claridad en el

Inventario Geoecológico, permite sintetizar -a título de hipótesis por el momento- el sentido que han de tener las transformaciones debidas a la actividad humana en la vertiente oriental de la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo. 1) Dado que este subsistema antrópico evoluciona en lapsos más cortos que los requeridos por el complejo territorial natural (Troll, 1971a), la actividad del hombre bajo patrones muy dinámicos de cambio en los usos del suelo ha de incrementar fuertemente el ritmo de las transformaciones ecogeográficas. 2) Esta aceleración del ritmo evolutivo ha de aumentar la inestabilidad de los diversos subsistemas naturales, que así se manifiestan más susceptibles y sujetos a presentar desequilibrios que comúnmente afectan a todo el sistema natural. 3) La sistemática perturbación de las áreas naturales por efecto de las actividades humanas, más sentida en la base de la vertiente, ha de implicar en principio una inminente pérdida en la diversidad natural del área, al tiempo que el entramado espacial de las unidades de paisaje se matiza en geocoras más pequeñas y diferenciadas en su contenido y dinámica; no obstante, en posteriores etapas más avanzadas de ecumenización se habrá de tender a la absoluta homogenización interna, que adopta fisionomías francamente "humanizadas" (fig. 9.1).

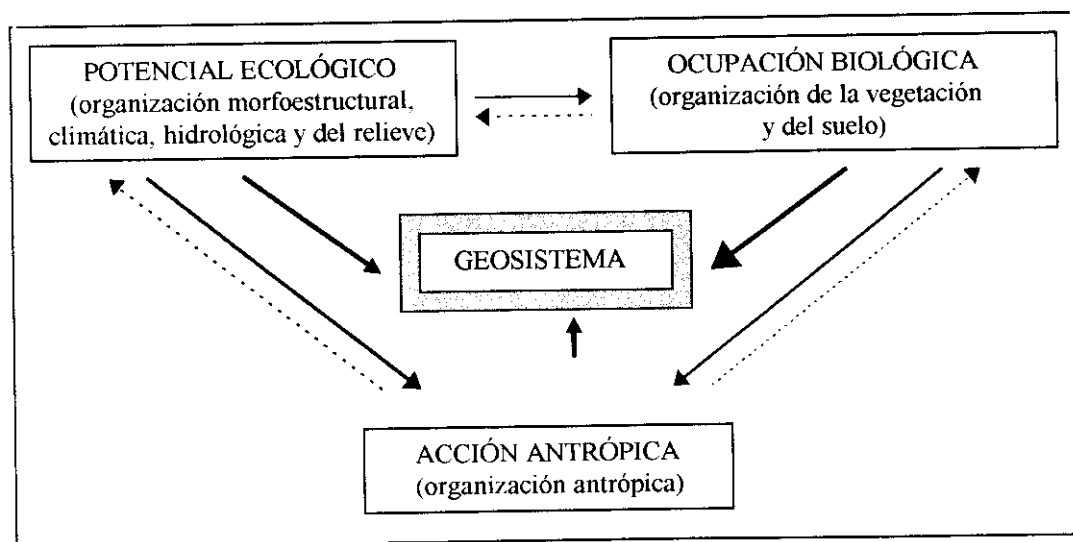


Figura 1.1. Dinámica del geosistema según el modelo de Bertrand (1968).

Hay que recalcar en todo caso que, siendo el objeto central del estudio los paisajes naturales (o, al menos, los que mantienen un grado apreciable de

naturalidad) , resulta evidente la necesidad de excluir como campo de aplicación del análisis paisajístico integrado a la extensa superficie del área plenamente urbana de la ciudad de México y de los pueblos y fraccionamientos dispersos en la vertiente, que en conjunto representa una tercera parte de la superficie total. Se incluyen, sin embargo, los valles y barrancos situados dentro del perímetro urbanizado pero que conservan los vestigios de su paisaje natural, ya que constituyen piezas clave para la interpretación de la dinámica de la extensa superficie pedemontana.

Dado que las entradas de materia y de energía en los geosistemas no son homogéneas dentro de su respectivo ámbito espacial, en cada uno de ellos se pueden reconocer porciones en que varía el peso de alguno de los componentes haciendo que presenten una estructura y una fisionomía apreciablemente diferenciada. Estas unidades son las **geofacies**, que vienen a representar "estados de evolución" del geosistema, conforman el nivel de la taxonomía corológica (nivel VI) más adecuado para observar las interacciones entre los componentes más sensibles del complejo territorial. Llevado el análisis a esta detallada escala espacio-temporal, la vegetación, los usos antrópicos y la cubierta edáfica -elementos muy dependientes y que sintetizan o resumen en máximo grado las interacciones geoecológicas- pasan a primer plano y el paisaje alcanza su mayor valor como expresión del estado del sistema natural. El de las geofacies es, según Bertrand (1968), el nivel escalar en que se obtiene "la mejor síntesis del medio" y en el que se ha de fundar a nivel operativo el Análisis Geográfico Integrado.

Finalmente, las unidades más pequeñas que articulan el sistema taxonómico son los **geotopos**, pequeñas células de paisaje que se diferencian en el ámbito de las geofacies si la observación desciende a la escala de los m² y reflejan ya variantes de detalle en la explotación biótica o el uso antrópico. Su toma en consideración se limita a casos muy específicos, pues sólo llegando a ellos se puede obtener información integrada acerca de ciertos enclaves de reducida extensión pero geoecológicamente muy valiosos. Llevar el análisis global de la totalidad del área de estudio a la escala de los geotopos implicaría un grado de complejidad y dificultad inasumibles y aclararía mejor los problemas planteados, los cuales hacen referencia al conjunto y a las grandes o medias unidades que constituyen

la vertiente oriental de la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo y no a enclaves concretos; por ello, su estudio no se aborda en el presente trabajo.

9.2. El encuadre del territorio y la determinación de su nivel taxonómico-corológico.

Para la determinación de la categoría corológico-taxonómica del territorio estudiado se parte de la antes citada clasificación de Bertrand (1968), que comprende como niveles básicos la *Zona*, el *Dominio*, la *Región Natural*, el *Geosistema*, la *Geofacies* y el *Geotopo*, los cuales son susceptibles de ser subdivididos cuando la lógica del análisis lo hacen conveniente. Así se ha hecho en este estudio, en que se ha establecido la **Subregión Natural** como división de la **Región Natural** y nivel intermedio entre ésta y el **Geosistema**. Partiendo de este marco se procede inicialmente a situar el área de estudio dentro de los niveles del sistema taxonómico que son evidentemente mayores que él y que lo engloban.

9.2.1. La Zona Intertropical.

La Zona Intertropical es la mayor de las unidades taxonómico-corológicas en que se integra la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo y por la cual se determina lo fundamental de sus caracteres climáticos y biogeográficos. En primera instancia la pertenencia a este cinturón zonal le confiere dos pasos anuales del sol por el cenit, definiendo una clara estacionalidad climática que permite el predominio, durante un amplio intervalo del año -que se extiende de mayo a octubre- de tiempo cálido y lluvioso, mientras que el resto se define por un ligero decremento térmico y por la recesión de las precipitaciones. Igualmente, el carácter intertropical explica que la mayor parte de los aportes pluviales provengan de los flujos de la circulación general del noreste (los vientos alisios), que penetran en esta porción del continente norteamericano a manera de masas de aire húmedas.

Sin embargo, tanto las altas temperaturas extremas propias del intertrópico como la estacionalidad de las lluvias característica de los ámbitos marginales del

mismo están atenuadas en el área estudiada. Una matización de los parámetros climáticos zonales se debe a la localización del área en una porción meridional y relativamente estrecha de Norteamérica, lo que la confiere una clara influencia marina, tanto de flujos provenientes del Golfo de México como, en menor grado, del océano Pacífico. Por otra parte, dicha porción se encuentra vigorosamente levantada y muy estratégicamente situada desde un punto de vista biogeográfico, en un área de contacto e interpenetración entre las floras de las dos grandes masas continentales de América. Como consecuencia de esto último la amplitud del abanico biótico se hace extraordinaria, siendo la biodiversidad y la riqueza de especies unas de sus características más significativas. La cubierta vegetal es, en consecuencia, variada e incluye elementos arbóreos sempervirentes y caducifolios con cortos períodos de reposo que no coinciden entre los variados elementos del *stock* florístico, configurándose formaciones mixtas de fisionomía verde durante todo el año.

9.2.2. El Dominio del Cinturón Volcánico Transmexicano.

Dentro del sector norteamericano de la zona intertropical, la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo queda incluida en una porción central de una elevada cordillera, el Cinturón Volcánico Transmexicano (ver cap. I.2), importante franja montañosa de origen tecto-volcánico cuyos vigorosos relieves atraviesan el territorio central de México, desde las costas del Pacífico hasta las del Golfo, siguiendo aproximadamente el paralelo 19° N. Con una altitud promedio de 2000 msnm, en ella están contenidas las mayores cimas del país que -como es conocido- superan los 5000 msnm. Es por consiguiente una unidad de carácter macroestructural que, dada su gran magnitud, interviene en la definición de parámetros climáticos y biogeográficos básicos que modulan de forma sustancial las condiciones zonales.

Además, el clima moderadamente cálido y húmedo que corresponde al área como consecuencia de su situación en el margen septentrional de la zona intertropical está matizado por la circulación regional de la atmósfera -que tiene rangos de ocurrencia y manifestación espacio-temporal más cortos- y de la que hay que destacar el acceso de los flujos asociados a los ciclones que alcanzan las costas del Pacífico y del Golfo de México hacia finales del verano y principios

del otoño. Estos flujos entran en el continente y alcanzan el C.V.T. a manera de masas de aire frecuentemente húmedo que son frenadas y obligadas a ascender por las vertientes cordilleranas, con importantes consecuencias pluviales para el conjunto. Pero, no obstante su impacto positivo sobre las lluvias, hay que decir que las sierras del interior del C.V.T., colocadas en una posición intermedia y culminante, como es el caso de la que nos ocupa, ven limitados los efectos de las perturbaciones asociadas a las masas húmedas que penetran desde el mar.

Además, en el plano biogeográfico, el C.V.T. representa -en conjunto con las elevaciones montañosas del sur de México- una barrera física que limita el avance de los flujos expansionistas de diversas especies de la flora holártica hacia el sur, lo que le permite constituirse en un área singular con carácter de “provincia fisiográfica de México”, definida por una vegetación forestal de bosques templados de coníferas y encinos, con la mayoría de los elementos arbóreos de afinidad boreal y la de los componentes de los sotobosques neotropical (Rzedowski, 1979 y 1988). Una buena parte de los elementos que integran el *stock* florístico del área que se estudia, entre ellos el oyamel (*Abies religiosa*) y diversas especies de los géneros *Pinus* y *Quercus* forman parte de la vegetación característica de dicha provincia fisiográfica del centro del país.

9.2.3. La Región Natural de las Sierras Interiores del C.V.T.

La cordillera del C.V.T. está compartimentada en una serie de mesobloques tectónicos desplazados y definidos por el cruce de fracturaciones corticales de origen Cenozóico cuya dinámica ha implicado la emisión de grandes volúmenes de productos volcánicos, con el consecuente levantamiento de estructuras acumulativas (sierras, aparatos volcánicos aislados, campos volcánicos, etc.), que han pasado a conformar macromorfoestructuras de relieve positivo y suficientemente grandes como para provocar matizaciones bioclimáticas y diferencias en el tipo y el grado de modelado exterior, que hacen de ellas una verdadera región natural. Esta región natural de carácter eminentemente montañoso se levanta sobre el fondo de un conjunto de grandes cuencas que se formaron por el relleno de las fosas tectónicas con los productos del volcanismo y los derrubios que resultaron de la denudación de las estructuras volcánicas y que constituyen igualmente una región natural diferenciada.

En este contexto general del centro del C.V.T., la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo corresponde a una macroestructura de relieve positivo, tectónica y petrológicamente individualizada y diferenciada de las macroestructuras de relieve negativo que la delimitan -las fosas tectónicas de la cuenca de México, al oriente y de la cuenca de Toluca, al poniente-, formando parte en consecuencia de la indicada Región Natural de las Sierras Interiores del C.V.T. No obstante el diverso origen de las fuerzas que intervienen en la definición del entramado paisajístico de la sierra, el relieve ciertamente asume un rol capital, toda vez que las magnitudes de ésta -con longitud de 60 km, anchura en su punto más amplio de 50 km y cimas que generan un desnivel local superior a 1500 m- le confieren suficiente entidad para generar bioclimas diferenciados de sus entornos. La amplitud ecológica y la distribución de los potenciales naturales responden así, en principio, a la gradación altitudinal de las vertientes y por lo tanto, la organización geoecológica en "pisos" es fundamental.

Cabe decir, por otra parte, que algunas diferencias en la distribución de los pisos están relacionadas con variaciones en la morfología y en la exposición a los vientos. La vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo es más extensa y particularmente agreste en ciertos sectores, lo que, aunado a su orientación de frente a los flujos predominantes del noreste, hace que las lluvias orográficas tengan efectos tanto positivos, al favorecer el desarrollo de cubiertas forestales de coníferas y latifoliadas que se extienden en franjas que desde las cumbres casi alcanzan la base de la sierra, como negativos, dado que el vigor del relieve evolucionado sobre un substrato localmente alterado y triturado por tectonismo, si se suma a las fuertes precipitaciones, potencia la erosión y crea en definitiva ambientes naturales estructuralmente frágiles.

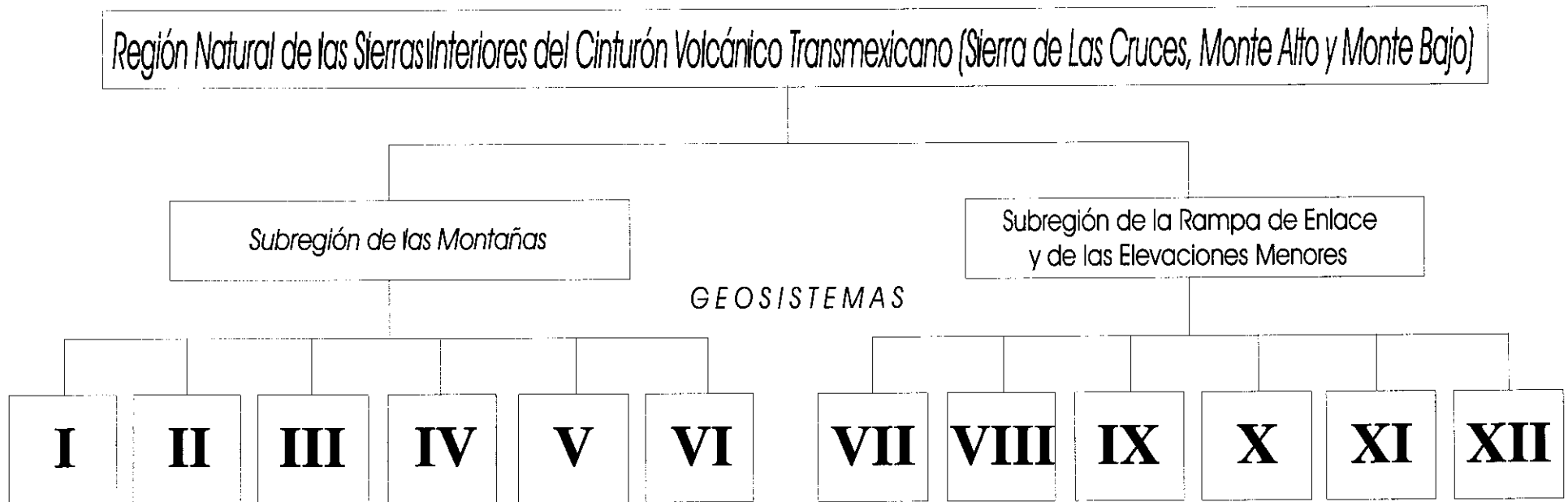
En esta situación de fragilidad intrínseca, la vertiente oriental ha sufrido los impactos del antropismo con mucho mayor intensidad que la contraparte occidental. Efectivamente, la vertiente estudiada da frente a la cuenca donde se ubica la ciudad de México, que con sus suburbios occidentales se ha adentrado hasta las medianías de la sierra dando lugar a cambios complejos y acelerados en el uso del suelo. En principio esta situación trae aparejada una serie amplísima

de consecuencias negativas que tienden a ocasionar, mediante un encadenamiento de los procesos, transformaciones bruscas y el deterioro generalizado del medio natural. Sin embargo, hay que señalar que las variaciones tienen no obstante escasas repercusiones en el contenido "regional", debido sobre todo a que la ubicación interior de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo en el contexto del C.V.T. mitiga los contrastes bioclimáticos entre ambas vertientes de la sierra, por lo que no se rompe en ningún sentido con el esquema general de la estructura en pisos que domina en ambas vertientes.

9.3. Los componentes básicos de la organización del territorio: los geosistemas.

De acuerdo con la información obtenida en los capítulos precedentes, el entramado paisajístico de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo registra una primera gran división, cuya escala dimensional es inferior a la de la región natural y mayor que la de los geosistemas. Todos los análisis sectoriales -desde el topográfico y el morfoestructural hasta el fitogeográfico- llevan a distinguir una Subregión de los macizos montañosos, que comprende la porción más elevada de la vertiente serrana -por encima de los 2800 msnm-, y una Subregión de la rampa de enlace, que, dispuesta al pie de la anterior, incluye la extensa superficie de piedemonte y los relieves de las elevaciones menores que se yerguen dispersos sobre el nivel de aquélla. Cada una de ellas comprende -como se verá a continuación- seis geosistemas (cuadro 9.2).

La introducción de este nivel taxonómico intermedio de la Subregión Natural, que no figura expresamente en la taxonomía corológica de Georges Bertrand, se ha efectuado porque permite poner de manifiesto los eminentes contrastes ecogeográficos que se establecen entre el área montañosa propiamente dicha y la rampa de piedemonte de la vertiente oriental de la sierra; unos contrastes que sin embargo no llegan al nivel necesario para justificar la diferenciación en ella de dos regiones naturales. Además, en el lado opuesto de la sierra, la vertiente que mira al occidente presenta a grandes rasgos una estructura similar a la de nuestra área de interés, de tal forma que la dos subregiones se extienden sin solución de continuidad en las laderas y rampas que dominan la cuenca de Toluca. Así el



Cuadro 9.3. Organigrama de la estructura taxonómico-corológica del territorio.

sistema taxonómico-corológico del territorio estudiado queda establecido de la forma expuesta en el cuadro 9.2.

9.3.1. Los geosistemas de la Subregión Natural de las Montañas.

Como antes se ha planteado y siguiendo la idea que señala a la gradación altitudinal como fundamento de la organización paisajística de la vertiente, es posible reconocer -a escala media- un umbral altitudinal que marca el contacto entre dos “pisos” principales, el de “las montañas” que coronan la sierra y el de “la rampa de enlace”, dispuesto al pie de éste. Ambos -a los que se ha conferido el rango de subregiones naturales- manifiestan innegables diferencias, tanto en el contenido específico de los diversos componentes del medio como en la estructura y la dinámica del conjunto.

La Subregión de las Montañas comprende los paisajes de los macizos montañosos de Catedral, Las Cruces y San Miguel que, erguidos por encima de los 2800 msnm, se caracterizan por un amplio abanico de rasgos ecogeográficos diferenciales que responden, en principio, al notable desnivel topográfico. La gran prominencia de las formas del relieve resultantes del volcanismo y constituidas por importantes acumulaciones de composición andesítica, aunado al embate de los climas cambiantes del cuaternario han dado origen a un modelado variado, pero en el que domina la morfología de valles y cabeceras encajados con fuerza sobre los materiales lávicos fracturados.

El desnivel topográfico -que llega a superar los 1000 m- condiciona una drástica transición de los climas de montaña, que, de ser frescos en las vertientes medias, se tornan a muy fríos hacia las cumbres, al tiempo que la orientación del eje central de la sierra -de sureste a noroeste- favorece el ascenso de las masas del noreste y la generación importantes precipitaciones orográficas -que en todo caso superan los 1000 mm anuales- y el mantenimiento de un flujo constante que refresca y reseca las superficies desnudas de vegetación. Esta combinación de abundancia de lluvia y frío permite la generación de los mayores excedentes hídricos de toda la vertiente, los cuales, dadas las condiciones lito-estructurales y topográficas, tienden a circular con gran rapidez tanto en superficie como subsuperficialmente hacia los mantos freáticos a través de las

numerosas líneas de fracturación, incorporándose así a la dinámica de los diversos subsistemas mesoestructurales del medio (los del relieve, la vegetación y los suelos) y distribuyendo energía y materia por toda la vertiente.

Los contenidos bióticos de los geosistemas que constituyen esta subregión natural han estado, desde sus orígenes en el Cuaternario, ligados al carácter volcánico de la sierra: los suelos cineríticos y leptosoles mantienen una vegetación densa de bosques de coníferas, la cual es fundamental para la estabilidad del medio toda vez que frena el embate erosivo ocasionado por el escurrimiento de los abundantes excesos hídricos. Hasta la segunda mitad del presente siglo la ocupación y las actividades del hombre -limitadas al entorno de pequeños pueblos rurales, como Acopilco, Chimalpa, Ayucan, etc.- apenas producían impactos apreciables sobre la vegetación y el suelo y, desde luego, no implicaban peligro alguno para la estabilidad estructural de los paisajes naturales. Sin embargo, a partir de entonces las vertientes de estas montañas pasaron a formar parte del cinturón agroforestal que bordea a la capital, iniciándose con ello el período de mayor ocupación e incremento poblacional debido a los procesos de inmigración; éstos, no obstante, han tenido carácter moderado debido a la distancia relativamente grande que separa las altas laderas serranas de la capital. El pilar de la economía local continúa siendo en ella la actividad agropecuaria tradicional y complementada, en segundo término, por la explotación de los recursos forestales, sobre todo la extracción ilícita -y por ende descontrolada- de maderas. Puede decirse en consecuencia que el sistema de sustitución de usos del suelo es favorable a las áreas agropecuarias, que se disponen intermedias entre la ciudad y los bosques, adoptando con frecuencia la forma y función de franjas “colchón”, utilizadas en los planes de desarrollo urbano de la capital como elementos de freno del crecimiento de la ciudad y obstáculo a su expansión sobre el cinturón forestal de la sierra.

Desafortunadamente, la creación de figuras legales -como parques nacionales- tendientes a proteger los bosques de los macizos montañosos, ha sido una acción hasta ahora poco exitosa, ya que, si bien ha logrado frenar el avance urbano sobre las masas forestales, no han impedido que éstas continúen siendo presa de muy variadas formas de alteración, entre las que destacan -por el daño directo que producen sobre los árboles- los desmontes por medio de la tala. Efectivamente, extensos campos de cultivo se han abierto en terrenos antes

forestados con pináceas y encinos, causando importantes pérdidas en la biodiversidad de las que se supone son las mayores reservas naturales de la vertiente. El área más afectada corresponde a las vertientes montañosas del macizo San Miguel, que han sido alcanzadas ya por el borde poniente del área urbana de la ciudad de México, poniendo en contacto directo la ciudad y el bosque -concretamente el Parque Nacional del Desierto de Los Leones-, prueba de la impetuosidad del proceso de urbanización en esta porción meridional de la vertiente.

9.3.1.1. El geosistema I, muy frío y húmedo de las cumbres montañosas de Catedral y San Miguel, con pinares de alta montaña y aprovechamiento silvo-pastoril.

Es el geosistema que engloba a los prominentes rebordes de los extremos septentrional (Catedral) y meridional (San Miguel) de la sierra -sobre los 3400 msnm- y que en el macizo Las Cruces sólo abarca los niveles culminantes que se yerguen al norte del "cerro" El Órgano. Es pues un sistema territorial de área disjunta formado por enclaves dispersos que en conjunto ocupan una modesta superficie (34,11km²), equivalente al 5.4% del total. Sobre las laderas exigüamente modeladas sobre acumulaciones de rocas compactas y rellenos cineríticos plio-cuaternarios, se reciben hoy amplios aportes pluviales que -favorecidos por la ineficacia térmica propia de las cumbres- permanecen en buena medida retenidos en la epidermis, desde donde consiguen expandirse por los diversos subsistemas del medio.

Pero, no obstante el alto potencial de escorrentía y las notables limitaciones bióticas debidas a la comparativamente baja energía térmica disponible, los bosques abiertos y monoespecíficos de pino de alta montaña que constituyen su vegetación potencial mantienen inmejorables condiciones de evolución y de estabilidad con los andosoles úmbricos que los soportan. Además, esta situación francamente positiva ha sido apenas trastocada por un pastoreo y explotación forestal de baja escala. Por todo ello puede considerarse que este geosistema es estable, está definido por la simplicidad de su organización interna -con solo dos geofacies- y se encuentra inmerso en una situación que podríamos calificar de "subclimática".

9.3.1.2. El geosistema II, frío y muy húmedo de las laderas altas de montaña de Catedral, Las Cruces y San Miguel, con bosque mixto de oyamel y pino de alta montaña y aprovechamiento silvícola.

Las laderas altas que se yerguen entre los 3200 y 3400 msnm, en un nivel inferior al de las cimas montañosas, configuran un sistema particular de paisaje común en los tres macizos montañosos -de Catedral, Las Cruces y San Miguel-, abarcando una superficie de forma alargada que ocupa 44,09 km²; dicha superficie (equivalente al 6,9% de la total) no es del todo continua, toda vez que en la porción meridional de Las Cruces la escasez de prominencias que alcancen la altitud señalada impide que en ella se diferencie este sistema.

A pesar de que las bajas temperaturas continúan siendo un factor fitolimitante, el paso de las cumbres a las laderas altas de montaña está marcado por un notable incremento de la diversidad en la cubierta biótica, representado de forma muy significativa por la incorporación del oyamel y la aparición de comunidades mixtas de pináceas, así como por una mayor complejidad del entramado paisajístico. De otro lado, el vigor topográfico aumenta debida al ya notable encajamiento de la red hidrográfica sobre el potente roquedo andesítico, lo que acusa los efectos orográficos sobre las masas de aire e incentiva la dinámica del sistema hidrológico en su conjunto. Debido a ello, los potenciales de escorrentía son muy altos y por ende la estabilidad del sistema es notablemente frágil. Y además, las actividades humanas se centran en las extracciones forestales y de los recursos hídricos, al tiempo que se implantan una serie de elementos de infraestructura que cortan la continuidad de los espacios naturales. No obstante, en ningún caso estas actividades llegan a comprometer el estado global del sistema, definido por un adecuado ritmo de edafogénesis y por un alto nivel de regeneración y equilibrio en las comunidades vegetales.

9.3.1.3. El geosistema III, frío y muy húmedo de las laderas medias de montaña de Catedral, Las Cruces y San Miguel, con bosques mixtos de oyamel y pinos, y aprovechamiento silvícola.

Es un geosistema cuya área se distribuye de forma dispersa en grandes geocoras aisladas que corresponden con los altos valles de los ríos Las Palomas, Cuautitlán, Xinté, San Luis, La Cañada del Silencio y La Magdalena y cuya extensión de conjunto abarca una considerable superficie (53.23 km²), equivalente al 8,2 % de la total. A pesar de las notorias similitudes en cuanto a estructura y diversificación interna que guarda respecto al geosistema anterior - con el que comparte el “piso montano” de los bosques húmedos y mixtos de abeto y pino- se aprecian en él elementos propios derivados de su situación y orientación que le individualizan. En primer lugar hay que señalar que el ya apreciable incremento de los niveles térmicos contribuyen a ampliar el abanico florístico, con aparición de especies menos adaptadas al frío, que enriquecen y densifican las cubiertas vegetales en estas laderas medias.

De otro lado, la morfología agreste de los citados valles -que además están orientados al noreste- hace de ellos nichos climáticos particularmente húmedos dentro de los que han podido desarrollarse ciertas comunidades singulares en el contexto de la vertiente. Unas comunidades que, no obstante la dificultad que impone la topografía, han sido apreciablemente afectadas por las actividades humanas, sobre todo en los sectores relativamente más cercanos a la urbe -como es el caso del valle del río La Magdalena-; en éstos la mayor intensidad en las intervenciones antrópicas se traduce en claros trastornos sobre la vegetación y el suelo, pero globalmente no se han afectado de forma sustancial las capacidades de regeneración ecológica, que son muy grandes, por lo que el sistema en su conjunto evoluciona con tendencia progresiva dominada por la edafogénesis.

9.3.1.4. El geosistema IV, frío y muy húmedo de las cumbres montañosas de Las Cruces y laderas bajas de montaña de Catedral y San Miguel, con bosques mixtos de aile, oyamel, pinos y encinos, y aprovechamiento agro-silvo-pastoril.

Es el geosistema más extenso de la subregión natural de las montañas, pero su área aparece también fragmentada en tres porciones, que se distribuyen, una, sobre un amplio sector de la cuenca del río Cuautitlán, en el macizo Catedral; otra sobre la vertiente norte de la cuerda montañosa de los “cerros” Texcané y Gachupín, en el macizo Las Cruces; y la tercera sobre una gran parte de las cumbres de éste último macizo, prolongándose hacia el sur hasta el reborde septentrional del macizo San Miguel, desde el río Totolinga al Aramitza, y teniendo como límite al poniente la divisoria de aguas general.

La gran amplitud altitudinal de estas tierras -de los 2800 a los 3400 msnm- se traduce en distintas configuraciones geoecológicas concretas, las cuales no obstante quedan dentro de los márgenes de un mismo tipo de combinación de potencial ecológico y explotación biológica. Se trata de áreas de cumbre y vertientes altas sobre las que se ha labrado una complicada red de valles plio-cuaternarios que estuvieron ocupados en su práctica totalidad hasta tiempos históricos por comunidades forestales en que se combinan plantas de preferencias frías y húmedas de montaña (como el oyamel) con plantas termófilas y adaptadas a la subhumedad más propias de la base de la sierra (como diversas especies de encinos). La capacidad de mantenimiento de estas comunidades ha sido superada en la mayor parte del área por efecto de las actividades humanas, que ya en estas porciones medias de la sierra son intensas e incluyen una evidente destrucción de la cobertera vegetal natural con fines, en principio, agropecuarios. El daño causado al potencial natural ha sido tan grande que las estructuras naturales han sido trastocadas y -pese a que la dinámica vegetal y edáfica aún muestran una capacidad de autorregeneración- las tendencias evolutivas a largo plazo están cambiando de dirección y miran hacia un nuevo orden que siempre implica una pérdida de la riqueza biótica del sistema natural. No obstante, la diversidad paisajística de este geosistema -con 13 estados distintos reflejados en otras tantas geofacies- es la mayor de toda la vertiente.

9.3.1.5. El geosistema V, frío y muy húmedo de las laderas bajas de montaña de San Miguel, con bosques mixtos de oyamel, pinos, encinos y cuachichie, aprovechamiento agrícola, recreativo y ocupación habitacional concentrada en pueblos.

Las laderas bajas del macizo San Miguel acogen una sola unidad geosistémica de dimensiones medias que, si bien en el contexto global es poco representativa (32,22 km² equivalente a alrededor del 5% de la superficie total), destaca por la singular riqueza de su contenido biótico. Su área abarca una extensa franja altitudinal -entre los 2800 y 3200 msnm-, desde el río Borracho, al poniente, hasta el límite de la mancha urbana de la Capital, que lo trunca hacia el oriente, siendo el único geosistema de la subregión natural montañosa que ha sido alcanzado directamente por el crecimiento de la Ciudad de México.

Una de las características que mejor lo definen es la notable prominencia del conjunto orográfico donde se ubica, que queda orientado al NE -a barlovento de los vientos predominantes- y resulta por ello particularmente favorecido por los aportes pluviométricos; este potencial abiótico, junto con la alta capacidad de retención de humedad de las formaciones y suelos cineríticos, conforman ambientes particularmente frescos y húmedos propios para una explotación biológica exuberante, florísticamente variada, en la que las formaciones de laurisilva -cuyo componente básico es el cuachichie (*Garrya laurifolia*)- se constituye en el elemento especializado y diferenciador del sistema.

En el momento actual, registra el mayor nivel de ocupación humana de la subregión de "las montañas", entre cuyas consecuencias más nefastas están la sistemática eliminación física de los espacios naturales, incluso en amplias extensiones -como sucede en la franja de gran transformación que corre paralelo al eje señalado por la autovía y la autopista que une México y Toluca-. Fuera de esta "franja" las intervenciones antrópicas se suavizan debido a la pertenencia de estas tierras al Parque Nacional del Desierto de los Leones, una de las mayores reservas forestales de la sierra, que no obstante ya manifiesta graves afecciones debidas a acciones directas, como la tala ilegal, o indirectas, como las derivadas de la contaminación del aire y de las aguas. A pesar de que el potencial ecológico es alto y permite una relativamente pronta regeneración biótica de los

espacios perturbados y del mantenimiento de una edafogénesis bastante activa, la gravedad del daño estructural ocasionado en el complejo territorial se traduce ya en un giro en la evolución natural de los geosistema a largo plazo, poniendo en riesgo una de las mayores riquezas forestales y paisajísticas de la sierra.

9.3.1.6. El geosistema VI, frío y muy húmedo de las laderas bajas de montaña de Las Cruces y del valle del río La Magdalena, con encinares, aprovechamiento agrícola y ocupación habitacional concentrada en pueblos.

Es también un geosistema de pequeñas dimensiones (35,52 km², equivalentes al 5.5% del total), que incluye dos tramos de la base montañosa que se sitúan entre 2600 y 3000 msnm. El primero y más extenso es una franja continua que bordea y delimita el macizo Las Cruces, caracterizada por su topografía escarpada -con predominio de laderas con más de 30° de inclinación-, que se extiende desde el "cerro" Gachupín, al norte, hasta el Tengani, al sur. El segundo tramo es más pequeño y comprende el sector final del estrecho y vigoroso valle encajado del río La Magdalena. Además de la vigorosa disposición del relieve en el borde montano donde ambos se ubican, la nota común es que quedan en una porción media y ampliamente expuesta de la vertiente, bien aireada y lluviosa, pero donde no obstante las masas forestales que forman su cubierta vegetal quedan en pleno expuestas -salvo el caso de los "abrigos climáticos"- a la acción física y reseca del viento, que afecta sobremanera las comunidades más sensibles de pináceas, que ven limitada su presencia en estas laderas dejando su lugar a los encinares.

Otra característica muy significativa de este geosistema es la abundancia de los recursos hídricos, procedentes tanto de las precipitaciones locales como de los aportes que provienen de sectores más altos. Sin embargo, esta abundancia de agua adopta con frecuencia un significado negativo, toda vez que la topografía agreste modelada sobre materiales frecuentemente muy sensibles favorece la rápida circulación del líquido a través de flujos canalizados en corrientes superficiales o a través de los numerosos planos disyuntivos de origen tectónico que los conducen al subsuelo. Es por todo ello un geosistema sujeto a una intensa dinámica de tipo natural, la cual ha sido incentivada desde hace tiempo por incesantes desequilibrios antropógenos asociados a la tala y al movimiento

de tierras para el asentamiento de colonos y al frecuente tránsito del hombre. El estado actual de las comunidades bióticas manifiesta, desde luego, el gran daño estructural sufrido, que arrastra al sistema hacia el emplazamiento de una dinámica francamente regresiva, implicando un cambio en la tendencia sucesional a largo plazo con el consecuente riesgo de perder los paisajes de encinar de montaña que aún colonizan estas vertientes.

9.3.2. Los geosistemas de la Subregión Natural de la Rampa de Enlace y las Elevaciones Menores.

El paso de la montaña a la rampa de piedemonte implica -como quedó establecido en el capítulo primero- un cambio de tipo morfoestructural que tiene repercusiones en el contenido y el funcionamiento de los diversos subsistemas del medio. Por ello, si bien es cierto que en el interior de la rampa existe una amplia gama de parámetros que intervienen en la configuración de los geosistemas, éstos mantienen semejanzas estructurales que los familiarizan y los relacionan bajo un mismo tipo evolutivo, que es diferente del que prevalece entre los geosistemas de la montaña.

Es de señalar, como un aspecto de gran significado paisajístico, que incluso las elevaciones menores -la sierra del Tigre y los cerros Totoltepec, Moctezuma y El Judío-, que habían sido señaladas como morfoestructuras independientes diferenciadas por una génesis, por unos contenidos litológico-estructurales y por una morfología propia, no tienen la suficiente entidad como para considerarlas en un casillero independiente de la taxonomía de los paisajes, debiendo ser integradas en el conjunto de los geosistemas de la rampa de enlace. Todos éstos tienen en común haber evolucionado sobre una superficie con altísimo grado de disección y aspecto complejo y fragmentado, que se articula como una repetida secuencia de lomas y valles fluviales básicamente rectilíneos y paralelos entre sí. Según se ha explicado, esta superficie se labró sobre los materiales de un piedemonte volcánico de edad plio-cuaternaria constituido fundamentalmente por acumulaciones volcánico-detriticas -con presencia de pequeños cuerpos dómicos y, en el caso de las elevaciones menores, domos y derrames lávicos muy antiguos- y que hacia su porción más distal está constituido mayoritariamente

por los depósitos de abanicos aluviales debidos al desmantelamiento cuaternario de la vertiente serrana.

Un condicionante fundamental del modelado de esta superficie ha sido el tectonismo ligado a los sistemas de fracturación del SW-NE y del W-E que afectó a los depósitos durante su formación en el Plio-Cuaternario. Dicho tectonismo confirió gran delezabilidad al roquedo en su conjunto y facilitó las acciones erosivas a lo largo de las principales líneas de falla, que han sido aprovechadas por los cursos de agua para el encajamiento y evolución de la red de drenaje. Además, como ya se ha explicado, en el último período de evolución de la rampa una posible reactivación tectónica y, con seguridad, el cambio hacia los climas frescos o templados y lluviosos de la actualidad incentivaron el rol de las escorrentías concentradas, que pasaron a ser el agente fundamental del modelado, del que se derivó a finales del Cuaternario y en los tiempos más recientes el desarrollo de la densa red de valles y barrancos que se observan en la actualidad, separados por estrechas y alargadas divisorias -“las lomas”- que representan los vestigios de las antiguas superficies previas al citado encajamiento de la red.

En el presente, esta extensa superficie de piedemonte disecada por la erosión está inmersa en un clima fresco y lluvioso que tiende a templarse y a perder humedad conforme se descende en altitud. Sin embargo, su declive menos marcado que el de la montaña permite una suave gradación climática y del contenido biótico relacionado con ella. Este consiste, en términos generales, en suelos cineríticos con amplio desarrollo de los horizontes iluviales, o bien suelos rocosos, así como en una vegetación natural de bosques densos de latifoliadas, sobre todo de encinares, que en las porciones altas de transición a la montaña incluyen elementos mesófilos y pinos más propios de las vertientes montañosas y hacia la base de la sierra -más templada y menos húmeda- se convierten en comunidades abiertas con presencia de elementos arbóreos achaparrados y arbustos espinosos.

Esta porción baja y globalmente menos inclinada de la vertiente de la sierra se ha convertido en el “frente” de mayor impacto antrópico, el cual ha sido de tan grande entidad que una parte muy importante de ella -con unos 185 km² de extensión, que equivalen a una cuarta parte del total del territorio estudiado- ha

sido urbanizada en menos de un quinquenio. Este proceso de ocupación humana es complejo, toda vez que los bosques que la cubrían son eliminados y reemplazados por variados tipos de aprovechamientos agropecuarios y sobre todo por usos habitacionales de alta densidad, dentro de los que no obstante hay todavía importantes vestigios de la vegetación original, la cual “aún no ha sido eliminada definitivamente” y muestra una notable resistencia a sucumbir ante los transtornos antropógenos. La subregión natural de la rampa es, por tanto, un área de gran dinamismo e importancia ecológica y clave para el entendimiento integral de los paisajes actuales de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo.

9.3.2.1. El geosistema VII, semifrío y húmedo de la parte superior de la rampa Norte y de los valles altos de Huixquilucan, con bosques mixtos de oyamel, pinos y encinos, aprovechamiento agro-silvo-pastoril y ocupación habitacional concentrada en pueblos.

Abarca este extenso geosistema (52,41 km², equivalentes al 8,2% de la superficie estudiada) la porción más alta de la rampa de enlace -entre los 2700 y 2900 msnm aproximadamente- exclusivamente en los dos tramos que quedan comprendidos, uno en el amplio sector medio de la cuenca del río Cuautitlán, justo al pie del macizo Catedral, y el otro en los altos valles de los ríos San Francisco y Aramitza, entorno a los pueblos de Huixquilucan y Dos Ríos. Un aspecto definitorio y quizás el que mejor individualiza estos sectores de transición con las laderas montañosas es que, no obstante su relativamente alta posición en la vertiente, han registrado un moderado encajamiento de la red hidrográfica del que ha resultado la configuración de valles muy abiertos y bien expuestos a la circulación de los vientos predominantes.

Hasta hace algunas décadas estos valles se mantuvieron como ámbitos muy estables colonizados por comunidades mixtas más o menos abiertas de pináceas y latifoliadas sobre suelos cineríticos de gran desarrollo y escasamente afectados por la erosión. Pero a partir de mediados de este siglo la apertura de campos agrícolas y de pastizales para el ganado se convirtió en un fenómeno muy dinámico, que ha llevado a la eliminación de amplias superficies forestales con evidentes afecciones al suelo y a las formaciones deleznales, los cuales así

quedan sujetos a procesos erosivos puntuales, incapaces todavía de desencadenar situaciones generalizadas de tipo rexistásico. Al igual que ocurre con la mayoría de los geosistemas de montaña, la estabilidad y la edafogénesis priman sobre las acciones erosivas que atentan contra la estructura del sistema. Sin embargo, todo parece indicar que el daño causado ha mermado la resistencia de éste a tan alto grado que ya resulta muy difícil a ciertos elementos de la cubierta biótica (caso de las pináceas) mantenerse dentro del sistema, por lo que tienden a desaparecer al tiempo que otros nuevos surgen o cobran mayor peso. Ello implica, desde luego, un cambio a largo plazo en la evolución del sistema natural y la aparición de nuevas configuraciones geoecológicas, con lo que se tiende a una mayor complejidad del entramado paisajístico, que ahora cuenta con siete facies distintas.

9.3.2.2. El geosistema VIII, semifrío y húmedo de la parte superior de las rampas centrales, con encinares, aprovechamiento agro-silvícola y ocupación habitacional concentrada en pueblos.

Pese a localizarse en la misma franja alta de la rampa que el anterior, este geosistema se diferencia de él por evidentes cambios de contenido y funcionamiento. De dimensiones más bien pequeñas, ocupa una sola unidad territorial correspondiente a la parte superior de los piedemontes centrales entre los 2500 y 2700 msnm, desde Chiluca, al norte, hasta el curso medio del río Hondo, al sur. No obstante su estrechez, esta "franja" de la vertiente se destaca en ella por la brusca elevación de las tierras en el enlace con las laderas montañosas, que se disponen de frente a los vientos húmedos del noreste, incentivando sobre manera en ella los aportes hídricos debidos a las precipitaciones orográficas.

La densa red de barrancos y cárcavas abierta en ella tiene evidentemente gran influencia en la dinámica del sistema natural, toda vez que estas formas de excavación están modeladas sobre un substrato piroclástico variado, tectonizado y en sumo sensible; esta organización geomorfológica, al combinarse con altos potenciales de escurrimiento, resulta particularmente favorable para la actividad de procesos erosivos susceptibles de afectar al funcionamiento y al comportamiento del geosistema. En este marco la explotación biótica está muy

restringida y se aprecia una significativa carencia de elementos florísticos propios de las áreas de montaña. Esta ausencia de origen natural ha sido, no obstante, remarcada y consolidada por las acciones antrópicas que afectan al área desde hace algunas décadas. Estas acciones relacionadas inicialmente con la actividad rural y en los últimos tiempos sobre todo con el crecimiento urbano han venido a incrementar la intensidad de los desequilibrios y finalmente han forzado una situación de gran alteración estructural y notables decrementos del potencial natural que, en definitiva, resulta insuficiente para mantener el alto valor de la diversidad biótica, cayendo ésta en una progresiva simplificación, que se refleja en la organización interna del geosistema -con tan solo cuatro estados distintos reflejados en otras tantas geofacies- y en una situación que se puede calificar como de regresión natural "exacerbada por los antropismos".

9.3.2.3. El geosistema IX, fresco y semihúmedo de la parte media de la rampa Norte, con bosque mixto de oyamel, pinos y encinos, aprovechamiento agro-silvo-pastoril y ocupación concentrada en pueblos y fraccionamientos.

Ocupa este geosistema una prolongación de los suaves declives topográficos que albergan al geosistema VII, con el que mantiene grandes similitudes ecológicas, aunque su posición en un nivel inferior de la vertiente condiciona diferencias fundamentales tanto de contenido como de funcionalidad. Por la extensión superficial de su área (71,11 km², equivalentes al 11% de la superficie total), se constituye como uno de los mayores del territorio estudiado, extendiéndose sobre la porción central (entre 2500 y 2700 msnm) de la cuenca del río Cuautitlán, desde el límite norte del área de estudio hasta la alineación transversal de los "cerros" Ñangó, Gachupín y Chiluca, al sur. Si bien el incremento de los valores térmicos y la disminución de los pluviométricos que se registran respecto de otros niveles más altos merman en cierto punto los volúmenes de la escorrentía, se registran importantes excedentes hídricos que son aprovechados -en los enclaves favorecidos por la acumulación de las aguas- por algunas pináceas, que descienden de las laderas más elevadas y aquí se entremezclan con las mejor adaptadas latifoliadas.

La mayor planitud topográfica, aunada a la alta capacidad de absorción de humedad por parte de los substratos piroclásticos de textura fina, favorecen una lenta circulación y en ocasiones la saturación de los horizontes superficiales, con lo que el sistema de modelado de las vertientes es uno de los menos activos y potencialmente menos agresivos. No obstante, su posición ya cercana a la gran urbe otorga gran valor a las intervenciones antrópicas, en principio agropecuarias y más recientemente centradas en la construcción de obras de infraestructura y de fraccionamientos (como es el caso de Chiluca), el conjunto de los cuales ha incrementado en fechas recientes los desequilibrios morfo-hidrológicos, que cada vez más se encadenan en series de afecciones generalizadas. Por ello, cabe señalar que, si bien este geosistema goza aún de una relativamente alta capacidad de autorregeneración, se encuentra ya bajo la presión de impactos capaces de abocar a una gran perturbación de su estructura.

9.3.2.4. El geosistema X, fresco y semihúmedo de la parte inferior de las rampas Norte y Centro-Sur, con encinares, abandono del aprovechamiento agro-silvo-pastoril y ocupación habitacional dispersa.

Ocupa este geosistema las porciones inferiores de las rampas Norte y Centro-Sur -por debajo de la cota de 2500 msnm-, alcanzando una superficie de 79,4 km² (equivalente al 12,5% de la total del área) que lo coloca como el más extenso y representativo del piedemonte. En la rampa Norte abarca un tramo medio-inferior de la cuenca del río Cuautitlán hasta casi tocar el borde superior de la Presa Guadalupe, mientras que en la rampa Centro-Sur se limita a una franja más bien angosta que se extiende desde el río de Los Remedios, al norte, hasta hasta el río Hondo, al sur. Su emplazamiento en la parte basal de sierra le confiere unas condiciones pluviométricas poco favorables, las cuales se combinan con el alto valor de las percolaciones propio de substratos piroclásticos, para establecer notables limitaciones en la disponibilidades hídricas superficiales lo que se traduce en la colonización de estas vertientes por una vegetación de encinares, que en las laderas mejor expuestas forman comunidades abiertas de ejemplares achaparrados sobre suelos cineríticos o de escaso desarrollo. Localmente dentro del área de este geosistema se produce el afloramiento de aguas subterráneas, el cual comúnmente constituye un factor

mas bien adverso, ya favorece la concentración de las aguas y activa los procesos erosivos.

A pesar de que el área de este geosistema da frente a la gran urbe, las ocupaciones con fines habitacionales han sido más bien escasas y en algunos casos se ha contado con un efectivo control del expansionismo residencial (como en Huixquilucan). Sin embargo, aunque hoy la densidad de ocupación del territorio por construcciones para vivienda es baja, existen otros aspectos de la ecumenización muy dinámicos y que afectan amplias extensiones; este es el caso de la apertura de carreteras y el emplazamiento de otras infraestructuras que rompen la continuidad natural, al tiempo que acrecentan la ya comentada fragilidad del sistema morfohidrológico. Este se inclina hacia una activa acción de modelado por arroyada que puede con frecuencia cambiar el sentido del balance edafogénesis-morfogénesis.

9.3.2.5. El geosistema XI, templado y subhúmedo de la parte inferior de la rampa Centro-Norte, de la sierra del Tigre y del “cerro” Totoltepec, con encinares bajos, abandono del aprovechamiento agro-silvo-pastoril y ocupación habitacional dispersa.

Es el geosistema más representativo del sector de territorio que constituye la base de la vertiente en su mitad septentrional, abarcando hasta un pasado reciente un área continua de grandes dimensiones que ha resultado segmentada después en dos porciones por una prolongación de la mancha urbana en el área de La Colmena-Bosques del Lago-. Una de estas porciones se extiende desde el curso medio de los ríos Tlalnepantla y San Javier, al norte, hasta del río de los Remedios, al sur; la otra incluye los alrededores de la Presa Guadalupe. Tanto en la una como la otra, lo mismo que en los relieves menores que las accidentan, los contrastes fisionómicos son grandes, pero manteniéndose siempre dentro de un mismo marco geoecológico, caracterizado por las más bajas capacidades de explotación biótica. Efectivamente, sobre estos sectores inferiores de la sierra, donde se registran las menores alturas y las máximas distancias a las laderas de los macizos montañosos axiales, la influencia orográfica apenas se deja notar en las precipitaciones, al tiempo que los mayores niveles térmicos y el predominio de litologías con altísima capacidad de percolación -y con frecuencia

fuertemente fracturadas-; como consecuencia de todo ello se aprecia una sensible merma en los recursos hídricos de superficie, lo que otorga al conjunto del área una fisionomía muchas veces reseca e inhóspita. Los escuetos recubrimientos vegetales que la colonizan consisten en comunidades abiertas de encinos achaparrados sobre suelos bajos en contenido orgánico que brindan una deficiente protección contra el embate atmosférico, permitiendo que las laderas, de morfología más o menos abierta, sean muy susceptibles al modelado intenso por la acción de la arroyada concentrada, que se deja sentir durante con particular intensidad durante las temporadas lluviosas de verano.

Y hay que señalar además que, aunque el poblamiento de estas tierras ha estado sujeto a un dinamismo de ocupación habitacional hasta ahora moderado, ya constituye elemento altamente perturbador de la estabilidad del geosistema debido a que ha afectado (en el municipio de Atizapán) a cuencas morfodinámicamente activas, causando la exaceración de los desequilibrios naturales y la reactivación de unos procesos de modelado capaces de sobreponerse a la edafogénesis en importantes ámbitos de las laderas. El grado de afectación del sistema natural es pues alto y, a pesar de que las alteraciones estructurales no parecen implicar cambios a medio plazo que pudiesen llevar a una degradación “natural” masiva de la vegetación, es evidente que el hombre ha contribuido a mermar la diversidad interna del sistema, que hoy presenta un escaso número de geofacies, entre la cuales tienen cada vez más relevancia las de fuerte alteración.

9.3.2.6. El geosistema XII, semifrío y húmedo de la rampa Sur, con bosque mixto de oyamel, pinos y encinos, abandono del aprovechamiento agro-silvo-pastoril y ocupación dispersa y concentrada en pueblos.

El sector meridional de la rampa, al sur del río Hondo, corresponde al área de un único geosistema que hasta hace un quinquenio abarcó toda la extensa franja de la vertiente situada por debajo de los 2700 msnm, pero que hoy -tras la invasión por la mancha urbana- ha quedado reducida a tan solo 37,18 km² (equivalente al 5,8% de la superficie total) siendo en la actualidad el menos representativo de la rampa y uno de los más pequeños del conjunto de la vertiente estudiada. El avance de la urbanización sobre este territorio ha sido

muy intensa, desarrollándose por medio de varias prolongaciones de la ciudad que diseccionan los espacios naturales en fragmentos separados, algunos de los cuales -los mayores- se abren hacia la parte alta de la sierra y forman parte del cinturón agro-forestal de la ciudad, mientras que otros -los de menor extensión- están ya inmersos en los suburbios urbanos. Entre estos últimos se cuentan las barrancas de los arroyos Los Jazmines, Tecamachalco, Tacubaya, La Piedad, Santo Desierto, Puerta Grande, San Angel Inn y San Ángel, así como la cima del "cerro" El Judío, todos los cuales aparecen como enclaves aún no invadidos por la urbe y permanecen más o menos cubiertos por la vegetación forestal nativa o sosteniendo bosquetes de repoblación.

El componente abiótico de este geosistema está fuertemente controlado por el gran espesor de las acumulaciones piroclásticas de origen relativamente reciente que levantaron con gran prominencia este sector de la sierra, así como por la diversidad litológica y de resistencia de estos materiales intensamente afectados además por la tectónica. Todo ello otorga al conjunto de las vertientes una evidente fragilidad, la cual puede ser aprovechada por los procesos erosivos gracias al alto valor de las precipitaciones de génesis orográficas y a los siempre notables aportes de agua que se perciben desde el ámbito de otros geosistemas colocados en niveles más altos. Se generan así importantes excedentes hídricos que fluyen con gran prontitud y se distribuyen ampliamente por el área, confiriéndola -de un lado- un gran dinamismo y una apreciable inestabilidad y -de otro- una gran riqueza vegetal y edafológica. Ciertamente el potencial natural del geosistema es explotado por comunidades complejas -bosques mixtos y encinares- particularmente valiosas, pero que hoy en día debido a los procesos de sustitución de usos de suelo que se asocian al expansionismo urbano, al abandono de terrenos agrícolas tradicionales y al emplazamiento de grandes obras de infraestructura han sido casi en su totalidad eliminados de las superficies planas de las "lomas", quedando la mayor parte de los que aún se conservan en el interior de los barrancos, donde están además sujetos un evidente retroceso. El fuerte desequilibrio y el daño estructural causados al sistema natural son sin lugar a dudas unos de los más sentidos que afectan la vertiente, y por los cuales se coloca esta superficie en estado de franca regresión ecológica.

9.4. La distribución espacial de los geosistemas.

Según quedó dicho, los geosistemas que integran la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo se distribuyen dentro de dos grandes entornos o subregiones -la de los macizos montañosos y la de la rampa de enlace- que se fundan en la organización macroestructural (morfoestructural y bioclimática) del territorio. Esta primera división del área de estudio la segmenta casi exactamente en dos mitades, siendo no obstante algo más extensa la superficie que corresponde a la rampa de enlace, la cual -aún sin contar la gran porción de ella que ya está plenamente urbanizada- representa algo más del 50% del total.

Como se puede apreciar en la figura 9.3, existen también claras semejanzas en cuanto a diversidad geoecológica y paisajística entre ambas subregiones, ya que cada una de ellas se organiza en seis geosistemas cuyas áreas, si bien varían dimensionalmente, se organizan tanto en una como en otra en conjuntos donde alternan grandes y pequeñas geocoras. No obstante, un análisis comparativo más detallado denota ciertas diferencias que vale la pena resaltar y que resultan en principio de la diferente naturaleza y dinámica geomorfológica de la montaña y de la rampa. Así, sobre los agrestes relieves de los macizos montañosos, los marcados gradientes altitudinales y topográficos potencian el grado de diversidad y favorecen una más densa partición del territorio de cada geosistema en geocoras separadas y de matizado valor geoecológico: los seis geosistemas contenidos en esta superficie montañosa aparecen casi siempre fragmentados en varios sectores -de menos de 30 km² en promedio-: tres en el geosistema I, dos en el II, cinco en el III, tres en el IV y dos en el V. El único geosistema montañoso que cuenta con una amplia extensión superficial -el IV, con el 15% de la superficie total estudiada- está dividido en tres sectores o geocoras que porcentualmente representan tan sólo el 7.8%, 3.4 % y 2.8% de la superficie total.

Por el contrario, la organización paisajística de la rampa de enlace responde a una gradación altitudinal más suavizada, por lo que los geosistemas que la integran, a excepción del X, tienden a ser comparativamente más extensos y no están fragmentados en geocoras separadas, alcanzando cada uno de ellos una superficie cercana a 50 km². Tres de los cuatro mayores geosistemas estudiados

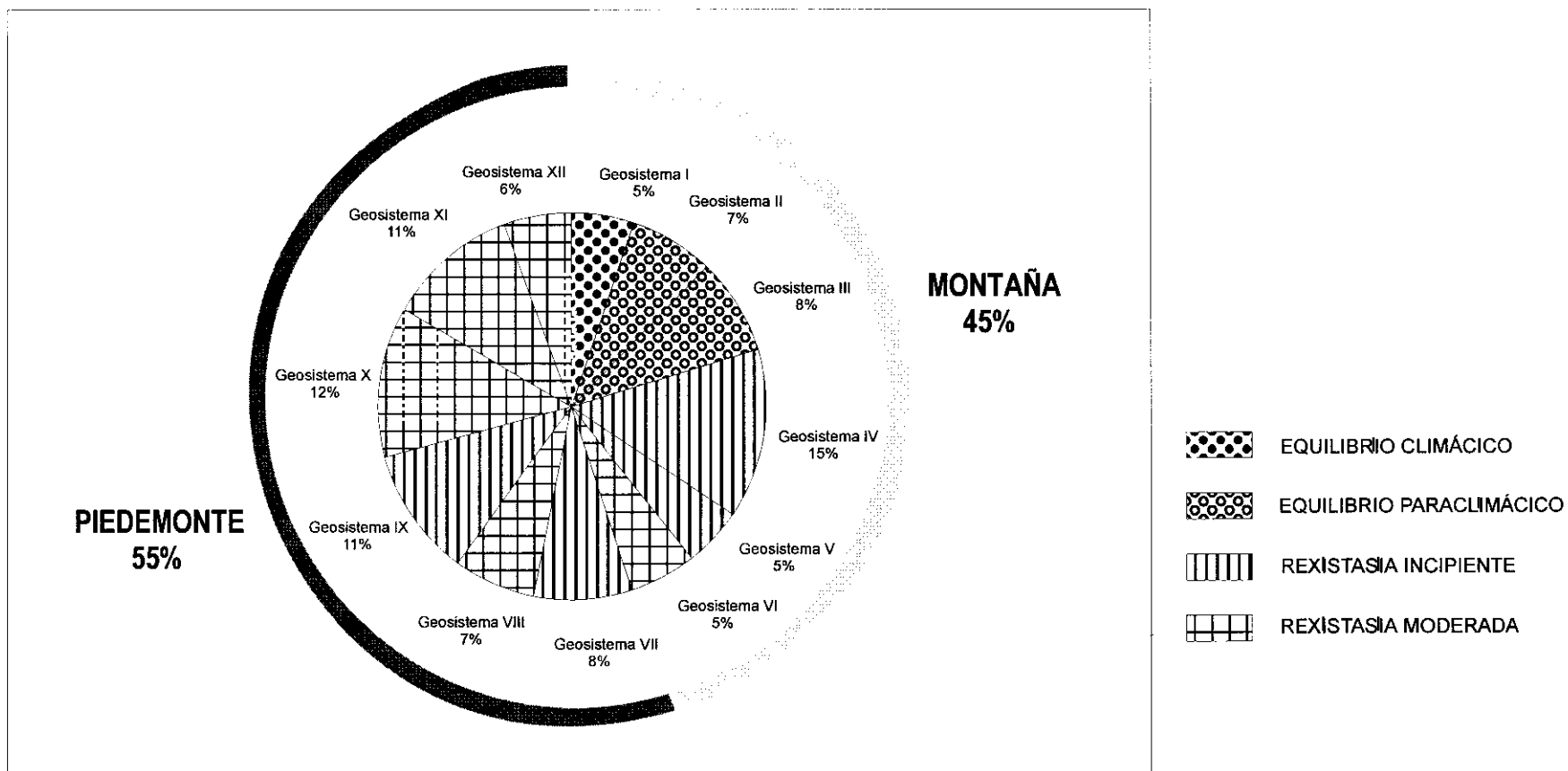


Figura 9.3. Distribución espacial y estado global de los geosistemas.

(el IX, el X y el XI) son pedemontanos y dos de ellos (el IX y el XI) tienen su área en la extensa y tendida rampa Norte, donde la gradación topográfica y la de todo el contenido natural es la más suave. Cabe decir, finalmente, que los geosistemas altamente ecumenizados que, en forma de una extensa franja dan frente al área urbanizada de la ciudad de México (geosistemas VII, X, XI y XII) representan en conjunto una tercera parte de los espacios considerados como paisajes naturales (36% del total) y más del 70% de los espacios naturales de la rampa de enlace, con lo que se da una idea de la fuerte participación que tienen las actividades rural-urbanas en la organización paisajística del área.

9.5. La estabilidad global de los geosistemas: los niveles de sensibilidad a las perturbaciones antrópicas.

Según se ha visto en los apartados precedentes, entre los geosistemas definidos existen amplias diferencias por lo que se refiere a su capacidad para mantenerse en equilibrio natural, apreciándose en ellos distintos grados de sensibilidad ante las influencias antrópicas, que constituyen en la actualidad un factor fundamental y con peso creciente de la dinámica geosistémica. Para poner de manifiesto estas diferencias de estabilidad o de resistencia a los impactos humanos, pero sin abordar por el momento un análisis más profundo de las mismas (que se reserva para el siguiente capítulo), se han clasificado los geosistemas utilizando como marco de referencia los conceptos de Biostasia y Rexistasia elaborados por Erhart y que -como es conocido- se basan en la relación entre la edafogénesis y la morfogénesis. Si bien este marco conceptual presenta -según ha sido señalado de forma reiterada por otros autores- ciertas deficiencias derivadas de su simplicidad y de la rigidez de sus puntos de referencia, se le ha utilizado adoptando el sentido más flexible que Tricart (1982) le ha dado y considerando que el "balance" edafogénesis-morfogénesis, resulta suficiente para definir a grandes rasgos el estado y las tendencias que presentan los sistemas territoriales. Según este planteamiento, se han diferenciado cuatro tipos de situaciones en las pueden encontrarse los geosistemas del área de estudio: **equilibrio climácico**, **equilibrio paraclimácico**, **rexistasia incipiente** y **rexistasia moderada** (fig. 9.3).

Los geosistemas en **equilibrio climático**, como el geosistema I -que incluye las cumbres y laderas más altas de la vertiente-, se caracterizan por la existencia de una franca estabilidad en las cubiertas vegetales y en los suelos que las soportan, lo que, combinado con una escasa presencia humana, se resuelve en bajos niveles de degradación morfogénica y altas capacidades de recuperación natural; en ellos las comunidades bióticas pueden autorregenerarse con la suficiente prontitud como para impedir con eficacia la desarticulación del sistema.

Por su parte, los geosistemas de las laderas altas y medias de los macizos montañosos (geosistemas II y III) se encuentran en **equilibrio paraclimático**, definido por una estabilidad natural frágil debido al carácter agreste del relieve y a los altos excedentes hídricos que incrementan el potencial morfodinámico y, por lo tanto, el riesgo de daño a los componentes bióticos; no obstante, la discontinuidad y la escasa intensidad de las actividades del hombre en estos ámbitos permiten la regeneración de los bosques y el emplazamiento de ambientes tranquilos dominados por la edafogénesis.

Muy diferente es la situación de los geosistemas que están afectados de forma permanente por perturbaciones antropógenas más o menos intensas pero capaces en todo caso de generar un fuerte desequilibrio, a veces de orden estructural, que inclina el balance edafogénesis-morfogénesis a favor de la segunda. Hay que decir, sin embargo, que en ninguno de los geosistemas descritos el desequilibrio ha llegado a ser tan generalizado para considerar que han llegado a una situación de **rexistasia plena**, tal como ha sido definida por Bertrand, es decir una situación en la que los componentes bióticos (suelos y vegetación) sean -bajo la influencia de la dinámica hidrológica y geomorfológica- sistemáticamente destruidos a un ritmo acelerado. En la parte de la vertiente próxima pero aún no ocupada por la mancha urbana de Ciudad de México, aunque en el momento actual los desequilibrios son marcados y creciente la actividad de los procesos erosivos, existe todavía en la naturaleza la posibilidad más o menos viable de regeneración biótica. Se puede así diagnosticar de **rexistasia incipiente** el estado en que se encuentra la extensa área ocupada por los geosistemas IV, V, VII y IX; y de **rexistasia moderada** el que presentan los geosistemas VI, VIII, X, XI y XII, correspondientes a ámbitos donde las consecuencias desequilibrantes del antropismo son favorecidas por causas morfológicas o litológico-estructurales.

10. LA ORGANIZACIÓN INTERNA Y LA DINÁMICA DE LOS GEOSISTEMAS.

Según se indicó, es posible identificar dentro del área de cada geosistema una serie de unidades elementales más pequeñas -las geofacies- que vienen a representar las diversas etapas de su dinámica evolutiva, por lo que están integradas o relacionadas entre sí no sólo espacial sino también dinámicamente. La definición e interpretación de estas unidades menores, que tienen su expresión en configuraciones paisajísticas elementales, es pues fundamental y requiere la apreciación directa y rigurosa de la naturaleza, la estructura y la dinámica de los componentes del geosistema dentro de su ámbito. Es decir, exige un sondeo integrado y preciso del campo del geosistema en el que se registren las variantes que dentro de él presenta el "potencial abiótico", la "explotación biótica" y la "acción antrópica" (Bertrand, 1968).

Este sondeo se centra en el contenido y la estructura vertical de cada geofacies y sus resultados sirven de base para apreciar el entramado de relaciones que se establecen entre ellas, así como para determinar el lugar que ocupa cada una en la serie completa de la sucesión de paisajes y los factores que dan lugar al paso unas a otras (Muñoz, en prensa). Todo ello conduce al diagnóstico preciso del estado y al entendimiento de la dinámica de los geosistemas anteriormente definidos.

10.1. El método de análisis de las unidades de paisaje o geofacies.

Según se explicó, la vegetación y la cubierta edáfica son los componentes de los geosistemas más dependientes y, por ende, los que mejor reflejan el resultado de la interacción entre su potencial natural y los procesos de explotación biótica y antrópica. Por ello y porque a una escala de observación detallada pasan a primer plano, así como por su relativamente fácil identificación mediante observación directa, el método seguido durante los trabajos de reconocimiento y análisis integrado de las geofacies guarda notables similitudes y puntos en común con los inventarios de vegetación realizados por los biogeógrafos y los

fitosociólogos. En concreto, la técnica inventarial que se ha aplicado es, con pocas modificaciones, la propuesta por G. Bertrand (1966).

Esta técnica consiste en la delimitación dentro del ámbito de cada geofacies de, al menos, un área circular de 10 m. de lado, y el reconocimiento dentro de ella de la naturaleza y profundidad del subsuelo rocoso y del desarrollo vertical y los caracteres de las formaciones superficiales, el subsuelo y el recubrimiento de materia orgánica ("mantillo"), así como el inventario -estructurado y lo más completo posible- de la vegetación que la coloniza. Los resultados de este trabajo, que ha de realizarse de forma directa en el campo y en el que se ha de tomar en consideración de forma simultánea todo el contenido del campo vertical del geosistema sin obviar los elementos de origen antrópico, se representan mediante gráficos comúnmente denominados "pirámide de vegetación", que permitan un pronta y objetiva comparación de las geofacies y facilitan la apreciación de sus relaciones espacio-temporales.

De los aspectos estructurales de cada geofacies interesa, además del contenido y dimensiones de los componentes que tienen su lugar por debajo de la superficie del terreno (horizontes edáficos, regolito, subsuelo rocoso), la estratificación vegetal. Esta se realiza utilizando como criterio único la altura alcanzada por los órganos aéreos de las plantas dentro del marco habitual que considera la existencia de cinco niveles o "estratos": Estrato 5 o "arbóreo" (más de 7 metros de altura), Estrato 4 o "arborescente" (de 3 a 7 metros), Estrato 3 o "arbustivo" (de 1 a 3 metros), Estrato 2 o "subarbustivo" (de 0,5 a 1 metro) y Estrato 1 o "herbáceo y muscinal" (menos de 0,5 metros). En cada uno de dichos estratos se reconocen las especies vegetales presentes y se determinan dos índices referentes al grado de ocupación y a la forma de asociación de las cada una de ellas. El primero de ellos es el Índice de Abundancia-Dominancia, que expresa el porcentaje de superficie ocupado o cubierto por cada tipo de planta y en que se distinguen seis rangos: +.- sólo presencia; 1.- menos del 10 %; 2.- del 10 al 25 %; 3.- del 25 al 50 %; 4.- del 50 al 75 %; y 5.- del 75 al 100 %. El segundo es el Índice de Sociabilidad, que da cuenta de la forma de agrupación de los ejemplares de cada especie según cinco clases: 1.- ejemplares aislados; 2.- rodales; 3.- grupos; 4.- manchas poco densas; y 5.- manchas muy densas. Hay que señalar, sin embargo que la información obtenida de la aplicación de este último índice ha sido poco relevante -como en otros estudios de paisaje

(Ferrreras, 1990)-, por lo que se ha utilizado sólo como dato complementario en algunos casos específicos. El de abundancia-dominancia, por su parte, resulta decisivo para establecer la estructura de la vegetación por lo que se aplica, no sólo a cada especie, sino también al conjunto de cada "estrato", que se clasifica también según su "tendencia". Esta, que puede ser estable, progresiva o regresiva, viene a indicar si el desarrollo apreciable de las plantas de un estrato tiende a mantenerlas dentro de él, a hacerlas pasar al estrato superior o bien a hacerlas pasar al estrato inferior.

Los inventarios precisos para el desarrollo de este análisis integrado de geofacies en el área de estudio fueron efectuados hacia el final de la estación de secas (enero-febrero de 1997), cuando se tienen los más bajos niveles de energía térmica y de aportes hídricos, lo que se manifiesta en un apreciable decremento de la masa y de la biodiversidad vegetal en las vertientes de la sierra. Hay que decir, sin embargo, que dicho decremento afecta sobre todo al *stock* de plantas efímeras (herbáceas de baja talla) que en la estación cálido-húmeda enriquecen los sotobosques y que, por lo tanto, no tienen un gran valor como definidoras de la estructura y de la composición básica de las formaciones; ha de considerarse que la falta de esta información, si bien desafortunada, no tiene implicaciones de fondo, ya que -como se indicó- éstas están definidas por elementos florísticos más estables (árboles y arbustos)-. En todo caso, las especies de plantas reconocidas a nivel de especie en los 75 levantamientos efectuados han sido 156, a las que hay que añadir varias decenas más que sólo han podido ser clasificadas a nivel de género o de familia.

Las peculiaridades del área de estudio han aconsejado, por otra parte, realizar algunas modificaciones a fin de adecuar la técnica de análisis a la realidad de los paisajes vegetales de la montaña intertropical. En principio, y con la finalidad de hacer destacar la compleja estructura vertical característica de las formaciones boscosas características de la sierra, se decidió la subdivisión del estrato arbóreo clásico en dos, el "arbóreo superior" (de más de 15 metros de altura) y el "arbóreo inferior" (de 7 a 15 metros), lo que incrementa en un piso más las "pirámides de vegetación". Los intervalos y los índices para expresar la abundancia-dominancia no se apartan de las normas tradicionales establecidas por Bertrand en 1966 y tampoco lo hacen los elementos y criterios utilizados para su representación gráfica, pero en la "tendencia" por estrato se ha

considerado conveniente matizar más de lo originalmente previsto, estableciendo cinco situaciones: Progresiva, Poco progresiva, Estable, Poco regresiva y Regresiva (cuadro 10.1).

Con el fin de resaltar las relaciones ecogeográficas entre las geofacies y de dar mayor expresividad a las "pirámides de vegetación" las especies inventariadas se han clasificadas según sus preferencias ambientales o su relación con un tipo de acción antrópica específico, acuñándose para ello el concepto de "agrupación fitoecológica", entendido como grupo de plantas con las mismas afinidades ecológicas o resultantes de un mismo tipo de actividad humana. Para definir estas agrupaciones se plantea en primera instancia una diferencia fundamental entre las especies **naturales** (pertenecientes al *stock* florístico original) y **no naturales** (introducidas de una u otra forma en el área). Dentro del primer grupo se reconocen fitoecológicas: a) plantas de **gran amplitud ecológica**, que incluye los elementos vegetales ampliamente distribuidos en toda la vertiente y que por lo tanto no son indicativos de ningún tipo de ambiente en especial dentro de ella; b) plantas de **alta montaña**, que son afines a los ambientes muy fríos y húmedos de las cumbres y rellanos cineríticos que coronan la sierra; c) plantas de **montaña**, propias de las laderas altas de la vertiente incluidas dentro de la unidad morfoestructural de la montaña, indicadoras de frío y alta humedad; d) plantas de **transición**, que están adaptadas a los ambientes frescos y muy húmedos de la parte superior del piedemonte, en la zona de éste que sirve de enlace con las laderas montañosas; y e) plantas de la **base de la sierra**, que se adaptan a las condiciones subhúmedas y templadas propias del piedemonte inferior (cuadro 10.2).

Por lo que se refiere al grupo de las plantas no naturales, el principal criterio de clasificación ha sido el tipo de acción antrópica responsable de su presencia, de lo cual resulta la distinción de cuatro agrupaciones: a) plantas **naturalizadas**, que, luego de ser introducidas por el hombre, han logrado de forma natural adaptarse a ciertos ambientes serranos, donde se reproducen de forma silvestre; b) plantas **ruderales**, que colonizan de forma natural los medios alterados por el hombre; c) plantas de **repoblación**, cuya introducción ha sido realizada voluntariamente por el hombre con la finalidad de restaurar la masas forestales y que en gran parte siguen precisando el apoyo del hombre para su desarrollo y

PLANTAS NATURALES							
ALTA MONTAÑA	MONTAÑA		TRANSICIÓN	PIEDEMONTE INFERIOR		GRAN AMPLITUD FITOGEOGRÁFICA	
**Pinus Hartwegii **Abies religiosa **Pinus Montezumae **Pinus pseudostrobus **Pinus teocote + <i>Quercus Bourgaei</i> + <i>Quercus conspersa</i> + <i>Quercus laurina</i> + <i>Alnus firmifolia</i> + + <i>Clethra mexicana</i> + + <i>Salix oxylepis</i> <i>Acaena elongata</i> ~ <i>Baccharis conferta</i> ~ <i>Brickellia pendula</i> ~ <i>Buddleja lanceolata</i> ~ <i>Canilla lythrifolia</i> ~ <i>Echeveria glauca</i> ~ <i>Eupatorium aschembomianum</i> ~ <i>Fuchsia microphylla</i> ~ <i>Fuchsia minimiflora</i> ~ <i>Gaultheria acuminata</i> ~ <i>Physalis acuminata</i> ~ <i>Ribes affine</i> ~ <i>Ribes pringlei</i>	~ <i>Ribes rugosum</i> ~ <i>Rubus sp.</i> ~ <i>Senecio andreuxii</i> ~ <i>Senecio angulifolius</i> ~ <i>Senecio barba-Johannis</i> ~ <i>Senecio roldana</i> ~ <i>Acanitacea</i> ~ <i>Agrostis semiverticillata</i> ~ <i>Alchemilla procumbens</i> ~ <i>Antirrhinum majus</i> ~ <i>Artisida sp.</i> ~ <i>Arracacia atropurpurea</i> ~ <i>Bidens ostruthioides</i> ~ <i>Bidens triplinervia</i> ~ <i>Callistepus chinensis</i> ~ <i>Cardiosperm. halicabacum</i> ~ <i>Castilleja schaffneri</i> ~ <i>Castilleja tenuiflora</i> ~ <i>Cirsium jorullense</i> ~ <i>Cirsium pinetorum</i> ~ <i>Conyza sp.</i> ~ <i>Cornus excelsa</i> ~ <i>Eryngium columnare</i>	~ <i>Eryngium ranunculoides</i> ~ <i>Galium praetermissum</i> ~ <i>Galium uncinatum</i> ~ <i>Gnaphalium inornatum</i> ~ <i>Gnaphalium oxyphyllum</i> ~ <i>Hieracium mexicanum</i> ~ <i>Lamourouxia multifida</i> ~ <i>Mentha spicata</i> ~ <i>Penstemon campanulatus</i> ~ <i>Penstemon gentianoides</i> ~ <i>Pinaropappus roseus</i> ~ <i>Potentilla candicans</i> ~ <i>Pteridium aquilinum</i> ~ <i>Rosa Montezumae</i> ~ <i>Salvia elegans</i> ~ <i>Selloa glutinosa</i> ~ <i>Sibthorpia pichinchensis</i> ~ <i>Stipa ichu</i> ~ <i>Thelypodium pallidum</i> ~ <i>Veronica americana</i> ~ <i>Viola flagelliformis</i>	+ <i>Quercus candicans</i> + <i>Quercus conglomerata</i> + <i>Quercus Dysophylla</i> + <i>Quercus glabrescens</i> + <i>Quercus lanceolata</i> + <i>Quercus obtusata</i> + + <i>Crataegus mexicana</i> + + <i>Prunus capuli</i> + + <i>Viburnum stellatum</i> ~ <i>Baccharis sordescens</i> ~ <i>Eupatorium deltoideum</i> ~ <i>Parmelia subrudecta</i> ~ <i>Phaseolus sp.</i> ~ <i>Setaria geniculata</i> ~ <i>Veronica peregrina</i>	+ <i>Quercus centralis</i> + <i>Quercus Hartwegii</i> + <i>Quercus laeta</i> + <i>Quercus mexicana</i> + <i>Quercus texcocana</i> ~ <i>Buddleja sessiliflora</i> ~ <i>Opuntia sp.</i> ~ <i>Indigofera sp.</i> ~ <i>Amelanchier denticulata</i> ~ <i>Baccharis ramulosa</i> ~ <i>Mimosa acanthocarpa</i> ~ <i>Montanoa frutescens</i> ~ <i>Montanoa tomentosa</i> ~ <i>Bouteloua spp.</i> ~ <i>Brickellia veronicaefolia</i> ~ <i>Hilaria cenchroides</i> ~ <i>Mentha canadensis</i> ~ <i>Muhlenbergia robusta</i>	**Pinus Leiophylla + <i>Quercus castanea</i> + <i>Quercus crassipes</i> + <i>Quercus magnoliaefolia</i> + <i>Quercus rugosa</i> + <i>Quercus rugulosa</i> + + <i>Arbutus glandulosa</i> + + <i>Arbutus xalapensis</i> + + <i>Garrya laurifolia</i> ~ <i>Baccharis glutinosa</i> ~ <i>Buddleja americana</i> ~ <i>Buddleja cordata</i> ~ <i>Cestrum anagyris</i> ~ <i>Cestrum terminale</i> ~ <i>Eupatorium glabratum</i> ~ <i>Eupatorium petiolare</i> ~ <i>Malvastrum lacteum</i> ~ <i>Senecio platanifolius</i> ~ <i>Senecio Salignus</i> ~ <i>Stevia salicifolia</i> ~ <i>Adiantum andicola</i> ~ <i>Cirsium ehrenbergii</i> ~ <i>Deschampsia pringlei</i>	~ <i>Eupatorium pycnocephalum</i> ~ <i>Festuca amplissima</i> ~ <i>Festuca rosei</i> ~ <i>Fragaria mexicana</i> ~ <i>Geranium mexicanum</i> ~ <i>Juncácea</i> ~ <i>Lamourouxia tenuifolia</i> ~ <i>Liquen</i> ~ <i>Lobelia laxiflora</i> ~ <i>Mimulus glabratus</i> ~ <i>Muhlenbergia macrooura</i> ~ <i>musgo</i> ~ <i>Potentilla heterophylla</i> ~ <i>Salvia fulgens</i> ~ <i>Salvia hyptis</i> ~ <i>Senecio acinella</i> ~ <i>Smilax moranensis</i> ~ <i>Stevia monardaefolia</i> ~ <i>Tagetes lucida</i>	

PLANTAS NO NATURALES			
ESPONTÁNEAS NATURALIZADAS	ESPONTÁNEAS RUDERALES	INTRODUCIDAS DE REPOBLACIÓN	INTRODUCIDAS DE CULTIVOS
**Pinus patula + + <i>Schinus molle</i> ~ <i>Poa annua</i> ~ <i>Rumex sp.</i>	~ <i>Verbena virgata</i> ~ <i>Castilleja arvensis</i> ~ <i>Taraxacum officinale</i>	**Cupressus Lindlyi + + <i>Eucaliptus globulus</i>	~ <i>Agave ferox</i> ~ <i>Avena fatua</i>

cuadro 10.2. Clasificación fitoecológica del stock florístico, atendiendo a las afinidades ambientales, a los tipos de impactos antropógenos y a la forma de vida de las plantas. (*) oyamel, (**) pinos y ciprés, (+) encinos, (++) otras frondosas, (-) arbustos y (-) hierbas.

reproducción; y d) **plantas cultivadas**, que entraron en el área como parte de los cultivos y aprovechamientos agrarios (tanto los que practicaron en el pasado como los que continúan vigentes en la actualidad). Debido a su amplia distribución y a su significado fundamental para la definición y la diferenciación de las principales formaciones forestales de la vertiente, el oyamel (*Abies religiosa*), así como las diversas especies de pinos (*Pinus spp.*) y de encinos (*Quercus spp.*) han sido separados en agrupaciones independientes según sus afinidades ecológicas, sobre todo con el objeto de que se aprecie con mayor precisión el contenido florístico en las "pirámides de vegetación". También con la finalidad de incrementar en lo posible la expresividad de estos gráficos sin llegar a una excesiva subdivisión de las áreas correspondientes a cada "estrato", se ha tomado en consideración como criterio de agrupación complementario la "forma de vida" de las plantas que integran el contenido vegetal de las distintas geofacies analizadas. Así dentro de cada una de las agrupaciones fitoecológicas antes citadas se han diferenciado los **árboles**, los **arbustos** y las **hierbas**.

De esta forma y con el objeto prioritario de mejorar la lectura de la expresión gráfica de los inventarios, se han establecido en 22 agrupaciones fitoecológicas (cuadro 10.3), a cada una de las cuales se la representa en las "pirámides de vegetación" con un color -que se utiliza en todos los "estratos"-, reservando el rojo y los tonos cálidos próximos a él para las plantas no naturales y el resto de los colores para las naturales, conforme a la siguiente leyenda: verde para los pinos y el ciprés, azul para el oyamel, marrón para los encinos, morado para las otras frondosas, anaranjado para los arbustos y amarillo para las hierbas. La intensidad de estos colores se incrementa además conforme se aumenta la afinidad de las especies o agrupaciones por los medios húmedos y fríos de las partes altas de la sierra. Fuera de estas normas quedan las plantas de gran amplitud ecológica que, dado que no tienen afinidades ecológicas específicas, se representan con diversas intensidades de gris.

Por fin, se ha establecido un orden de presentación en cada "estrato" de las "pirámides de vegetación", que es de izquierda a derecha: A) Plantas Naturales: 1.- de gran amplitud ecológica, 2.- de alta montaña, 3.- de montaña, 4.- de transición y 5.- de base de la sierra; y B) Plantas no Naturales: 1.- naturalizadas, 2.- ruderales, 3.- de repoblación y 5.- cultivos. Y de la misma forma, el orden de presentación cuando se diferencian especies o géneros y se toma en cuenta la

forma de vida de las plantas es: Oyamel - Pinos - Encinos - Otras frondosas - Arbustos - Hierbas.

Estratos de vegetación	Abundancia-dominancia	Sociabilidad	Dinámica
0. Mantillo			
1. Herbáceo y muscinal (0 a 0,5 m)	+ . Solo presencia	1. Ejemplares aislados	Progresiva
2. Subarbustivo (0,5 a 1,0 m)	1. Menos de 10 %	2. Rodales	Poco Progresiva
3. Arbustivo (1,0 a 3,0 m)	2. De 10 a 25 %	3. Grupos	Estable
4. Arborescente (3,0 a 7,0 m)	3. De 25 a 50 %	4. Manchas poco densas	Poco Regresiva
5. Arbóreo inferior (7,0 a 15,0 m)	4. De 50 a 75 %	5. Manchas muy densas	Regresiva
6. Arbóreo superior (más de 15,0 m)	5. De 75 a 100%		

Cuadro 10.1 Cuadro resumen de los criterios para diferenciar los estratos de vegetación, la abundancia-dominancia, la sociabilidad y la dinámica de la vegetación.

10.2. Aplicación del análisis integrado de paisaje a los geosistemas del área de estudio.

10.2.1. El geosistema I, muy frío y húmedo de las cumbres montañosas de Catedral y San Miguel, con bosque de pino de alta montaña y aprovechamiento silvo-pastoril.

Los paisajes de las cumbres montañosas comparten como rasgo común haber evolucionado sobre los vestigios rocosos de viejos aparatos volcánicos, concretamente domos y derrames lávicos separados por extensas superficies semillanas recubiertas de cenizas volcánicas que dan al conjunto del paisaje un aspecto abierto y bien aireado. Estas estructuras resultaron parcialmente modeladas por la actividad de los procesos externos del Plio-Cuaternario, en el que algunos cursos de la red hidrográfica principal asentaron sus cabeceras sobre las laderas rocosas, aunque sin apenas afectar a las cimas dómicas de muchas de ellas, que aún mantienen la morfología volcánica original.

En la actualidad estas superficies culminantes están sometidas a un clima lluvioso y muy frío -único en el contexto de la vertiente-, en el que las precipitaciones, que no son las más copiosas del área, se acercan a 1300 mm anuales. Estos considerables aportes pluviométricos aunados a las bajas temperaturas, que en todo el año son inferiores a 10°C de media mensual, permiten la retención dentro del sistema de amplios volúmenes hídricos y la generación de excesos de agua que superan los 800 mm anuales. Una buena parte de estos recursos son retenidos en el suelo y en los mantos cineríticos del subsuelo, donde quedan sujetos a la acción del hielo-deshielo, al tiempo que otra parte percola a través de las redes de fracturación, para posteriormente salir del sistema como parte de la circulación hipodérmica, fundamental para la alimentación hídrica de otros geosistemas ubicados en niveles más bajos de la vertiente. No obstante, las escorrentías superficiales son poco representativas ya que están limitadas por las características poco agrestes del relieve y por la alta capacidad de retención de agua de los suelos cineríticos, consistiendo en corrientes difusas y divagantes que ejercen un efecto de lavado, que en los llanos de relleno piroclástico de Laguna Seca y en los que ocupan el interior del curso alto del río La Magdalena, dan lugar a evolución de pequeñas turberas.

Así, no obstante los altos volúmenes de agua que circulan en superficie o por la epidermis, este geosistema goza -como se ha dicho- de una notable estabilidad natural y la morfogénesis esta liderada por los arroyamientos difusos y por las solifluxiones y los procesos de tinte periglaciario, entre los que destacan las crioturbaciones de los suelos y formaciones superficiales (con formación de lentejones y agujas de hielo) que son favorecidos por los descensos térmicos nocturnos que se registran durante todo el año. El modelado activo adquiere un rol dominante sólo de forma puntual, en algunos tramos de laderas localmente verticalizadas, donde la estabilidad es evidentemente frágil y por ende existe un alto riesgo de pérdida del equilibrio hídrico natural. Esta dinámica "moderada" del geosistema de las cumbres tiene no obstante gran trascendencia, toda vez que los desequilibrios hídricos y geomorfológicos que en él se dan tienen consecuencias sobre otros geosistemas de niveles altitudinalmente inferiores.

Por otra parte, esta relativa calma morfogenética que ha seguido a los últimos periodos de actividad volcánica ha permitido la conservación de los mantos cineríticos y la evolución sobre ellos de una cubierta edáfica bastante continua y

profunda de andosoles úmbricos, que sólo falta en enclaves localmente empinados, donde son sustituidos por andosoles de fase lítica o incluso por leptosoles líticos. En cambio, en el interior de los enclaves llanos de relleno piroclástico las saturaciones de agua en condiciones de bajas temperaturas han condicionado la evolución de suelos turbosos afectados por crioturbaciones (con presencia, en algunos casos, de permafrost local).

Desde el punto de vista biótico, el conjunto de las cumbres está inmerso en el piso cacuminal de vegetación caracterizado por una vegetación forestal adaptada a las bajas térmicas que permanecen todo el año y que cuenta con una sola especie arbórea, el pino de *Pinus Hartwegii*. Esta pinácea constituye comunidades abiertas o muy abiertas y con sotobosques poco densos que se extienden favorablemente sobre las laderas cineríticas de suave declive de los cuerpos dómicos culminantes. Por su parte, los fondos semillanos que se sitúan entre dichos cuerpos permanecen comúnmente embebidos en agua y sujetos localmente a una dinámica de turberas con crioturbación activa, apareciendo mayoritariamente cubiertos por pastizales de tipo zacatonal, en torno a los cuales se desarrolla la mayor parte del sistema de aprovechamientos humanos.

En la actualidad, estos aprovechamientos son exigüos y de tipo rural debido a la lejanía de los centros urbanos, al gran desnivel altitudinal con respecto a ellos y a las duras condiciones térmicas, muy desfavorables para la ocupación habitacional. Se limitan a actividades de tipo silvo-pastoril de baja escala, con cría de ganado caballar y explotación ilícita de los recursos forestales que, si bien escapa del control gubernamental, no ha implicado hasta el momento actual un grave peligro para la estabilidad de la estructura de los paisajes forestales. Se cuentan éstos entre los mejor conservados de la vertiente, manifestando un altísimo potencial de recuperación de los elementos bióticos dañados por el hombre.

La configuración paisajística interna del geosistema destaca por la sencillez del entramado (incluye solo dos geofacies) que más que otra cosa refleja la adaptación de las unidades a los principales rasgos morfológicos de las cumbres. La escasa presencia humana en estas tierras permite una gran continuidad natural en las vertientes, que por ello mismo se organizan en geocoras más o menos extensas y cuyos contactos graduales dan a los paisajes un aspecto armonioso.

**I1. La geofacies del bosque abierto de pino de alta montaña (*P. Hartwegii*)
sobre andosol úmbrico en cimas y laderas altas de volcanes y domos
recubiertos de cenizas.**

El pino de alta montaña, que anteriormente ha sido señalado como la única especie de árbol tolerante al hostil clima muy frío de las porciones culminantes de la sierra, coloniza estas altas laderas constituyendo bosques monoespecíficos, abiertos o muy abiertos y de estructura sencilla con un solo estrato arbóreo. En la "pirámide de vegetación" correspondiente se observa una escasa masa vegetal resultante de las limitaciones que impone el potencial ecológico y sobre todo de las bajas térmicas. Por ello mismo, los sotobosques -más enriquecidos hacia el verano- son también escuetos y de escasa diversidad floral, estando presentes sobre todo elementos rastreros (generalmente rosáceas y gramíneas). Las plantas arbustivas más representativas tienen un significado ecológico especial en este sistema de colonización, toda vez que son propias de ambientes montañosos y casi siempre dentro de las comunidades de coníferas, destacando entre ellas por su talla los ejemplares de *Stevia salicifolia* y las escobillas (*Baccharis conferta*) y, en un nivel apenas rasante, la pegarropa (*Acaena elongata*).

GEOFACIES: I1	Bosque abierto de pino de alta montaña (<i>P. Hartwegii</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Llano Las Navajas	
ALTITUD (msnm): 3490	PENDIENTE: 11°	EXPOSICIÓN: Solana (Este)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera de domo		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Tala de árboles / Pastoreo		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Pinus Hartwegii</i>	3	1
Abundancia: 3	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Stevia salicifolia</i>	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Estable	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Baccharis conferta</i>	1	1
gramínea alta	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		

<i>Festuca amplissima</i>	4	5
<i>Festuca rosei</i>	1	4
<i>Acaena elongata</i>	2	3
Herbacea rastrera	4	5
Musgo	3	5
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	

No obstante los importantes excedentes hídricos y el consecuente alto potencial morfodinámico, estos paisajes de pinar abierto de montaña corresponden a laderas estables con alta capacidad de retención de humedad al nivel de los andosoles úmbricos y de los substratos cineríticos, que les sirve para mantener un equilibrio con la vegetación que soportan, estando sujetos a procesos de desplazamiento por solifluxión y crioturbación de los mantos superficiales. Localmente el afloramiento del roquedo compacto de andesita completa el paisaje con las escasas prominencias desnudas que, sólo en casos muy aislados como en el curso alto del río La Magdalena, constituyen escarpes verticales de gran actividad morfogenética productora de derrubios de gravedad.

I₂. La geofacies del pastizal de zacate de *Festuca amplissima* y zacatón de *Muhlenbergia macroura* sobre andosol úmbrico en "llanos" cineríticos saturados.

Las superficies semiplanas que separan las cimas de los volcanes y domos volcánicos funcionan bajo un sistema distinto al de las laderas, de las cuales reciben energía y materia por medio de las escorrentías y de los flujos epidérmicos que, en primera instancia, han llevado a la comaltación de estas elevadas superficies. Los substratos son en este caso depósitos cineríticos de alta capacidad de absorción, captadores de una buena parte de los excedentes hídricos que se generan en estas partes culminantes y que bajo el influjo de las bajas térmicas propias de las cumbres de la sierra, permiten un claro dominio de los procesos periglaciares manifiesto en fenómenos como crioturbaciones, formación de agujas y lentejones de hielo y en acciones reductoras que llevan a la evolución de turberas.

Como se aprecia en la pirámide de vegetación I₂, los pinares, poco tolerantes a las saturaciones de agua, no suelen penetrar en estas depresiones y ceden lugar

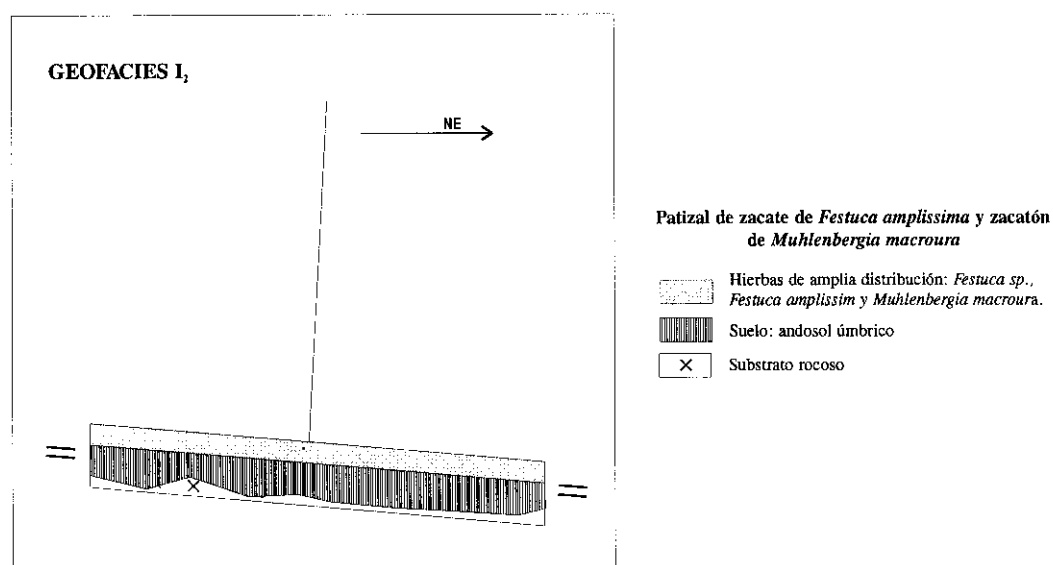
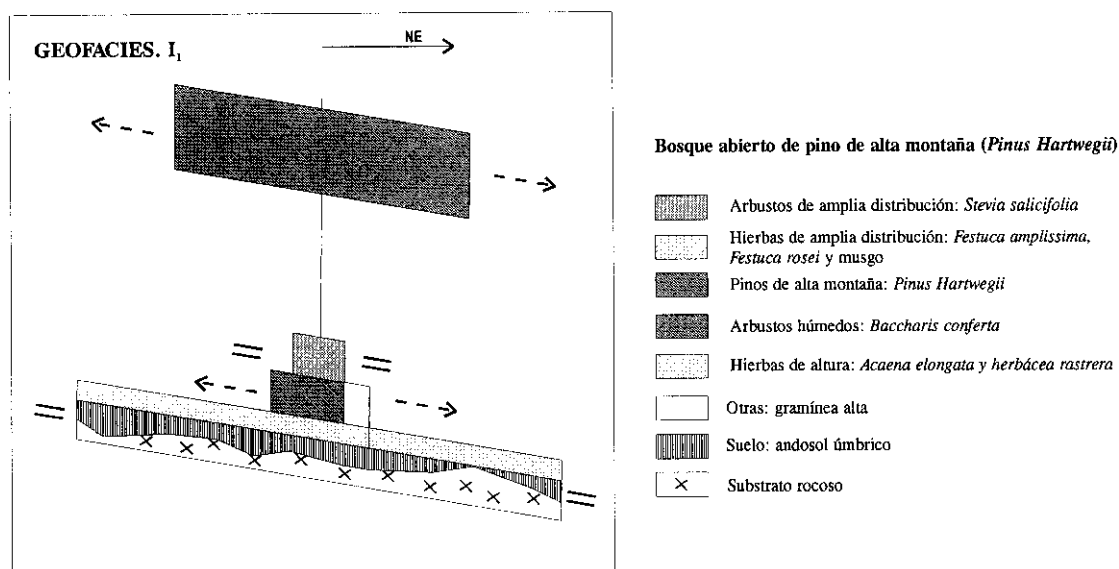


Figura 10.1. Pirámides de vegetación de las geofacies I₁ y I₂

al pastizal natural mixto, con zacatones (de *Muhlenbergia macroura*) y zacates (de *Festuca sp.*) entremezclados en un entramado de enclaves, a veces densos y tupidos de zacatones y, en otras, dominados por los zacates que a manera de un manto se expanden por amplias superficies, apenas interrumpidos en los encharcamientos de las turberas. Ambas especies gramíneas no son, sin embargo, fitoindicadoras de medios de altura sino que gozan de amplia distribución en toda la vertiente e incluso son frecuentes en los entornos de áreas fuertemente humanizadas del piedemonte inferior, por lo que ciertamente tienen una gran facilidad para expandirse bajo el influjo de la antropización.

GEOFACIES: I ₂	Pastizal de zacate de <i>Festuca amplissima</i> y zacatón de <i>Muhlenbergia macroura</i>	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Llano Las Navajas	
ALTITUD (msnm): 3460	PENDIENTE: 3°	EXPOSICIÓN: Solana (Este)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Llano de altura		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Pastoreo		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Festuca amplissima</i>	3	4
<i>Muhlenbergia macroura</i>	3	3
<i>Festuca sp.</i>	3	3
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	

10.2.1.1. La serie del pinar de alta montaña.

El estado más próximo al clímax de este Geosistema I está representado por la geofacies de los pinares de alta montaña (geofacies I₁), característicamente sensibles al drenaje deficiente de los llanos montañosos, donde carecen de posibilidad de competencia ante una vegetación higrófila de pastizal de zacate y zacatón (geofacies I₂) que reemplaza a los pinares de las superficies saturadas, quedando aquellos reprimidos en las laderas de los cuerpos dómicos y volcanes. Pero, no obstante que la distribución de pinares y pastizales manifiesta de forma clara las distintas preferencias ambientales de ambas comunidades, se establece entre ellas una situación de competencia, si bien poco evidente, básica para el funcionamiento de este sistema natural. Sumándose a las vías naturales de sustitución fitogeográfica, las actividades humanas han propiciado la aparición

de nuevas vías que ante todo incrementan la velocidad de los procesos y favorecen el dominio de los pastizales en detrimento de los paisajes boscosos. Efectivamente, la necesidad de expandir los zacates y zacatonales para su explotación en el pastoreo y, en segundo término, como materia prima para la fabricación de escobas, sillas, etc., ha favorecido acciones reiteradas de tala y quema que impiden la regeneración de los bosques. La degradación del medio que esta dinámica sustitutoria implica es evidente, tanto en la calidad como en la cuantía de las especies integrantes (de 8 en el pinar a 3 en el pastizal), reflejándose también en la reducción del grado de fitoestabilidad de las laderas propiciado por el nuevo manto vegetal, que evidentemente tiende a acrecentar los riesgos por morfodinámica.

Cabe señalar que, no obstante el daño causado a los bosques por las acciones señaladas, las presiones negativas debidas a la tala y a la quema son de baja escala espacial a la vez que discontinuas y distanciadas en el tiempo, por lo que hasta ahora no han generado daños estructurales de fondo en el sistema natural, existiendo la posibilidad de retorno a una situación subclimática en el caso de que las presiones antrópicas cesen o bien de que ocurra una reactivación de la escorrentía y la disminución de las saturaciones superficiales. Los altos potenciales geoecológicos que se han señalado para la porción alta de la sierra permiten una notable prontitud en la regeneración de los pinares dañados (fig. 10.2).

10.2.2. El geosistema II, frío y muy húmedo de las laderas altas de montaña de Catedral, Las Cruces y San Miguel, con bosque mixto de oyamel y pino de altura y aprovechamiento silvícola.

Las altas laderas de montaña (de 3200 a 3400 msnm) se modelaron sobre derrames lávicos plio-cuaternarios, segmentados de raíz por diversos patrones tectónicos y que durante las últimas etapas de volcanismo fueron parcialmente cubiertos de piroclastos finos. El modelado cuaternario estuvo protagonizado por el desmantelamiento de los mantos cineríticos y por una intensa incisión de los cursos de agua, facilitada y controlada por las principales líneas de fracturación del roquedo. Es de suponer la existencia de períodos

particularmente dinámicos desde el punto de vista geomorfológico, que debieron coincidir con las fases de clima frío del Pleistoceno y durante los cuales se inició la formación de las actuales cabeceras fluviales de los ríos Cuautitlán, San Luis, La Cañada del Silencio, Borracho y Santo Desierto (que eventualmente pudieron funcionar como nichos de nivación o incluso sufrir algún retoque glaciar). El alto valor del encajamiento fluvial permitió el modelado sobre estas laderas rocosas de valles de laderas verticalizadas, con escarpes activos afectados por acciones mecánicas asistidas por el agua y fenómenos de gravedad, que, dada su magnitud, se han constituido como elementos distintivos y de gran significado ecológico dentro de estas áreas montañosas.

Por otra parte, la posición alta y el fuerte declive de las laderas actuales tienen importantes efectos orográficos sobre las masas de aire húmedo que penetran por el este y el noreste, colocando con ello a este sistema dentro de la franja de mayor pluviosidad de la vertiente serrana, con precipitaciones que anualmente descargan más de 1300 mm. Si bien el paso de las cumbres a las laderas altas de montaña está marcado por un notable incremento de las temperaturas, estas no superan los 12° de media anual, con las medias mensuales del invierno por debajo de 10°. Debido a ello, las pérdidas por evapotranspiración son escasas y se generan importantes excedentes hídricos que superan los 600 mm anuales, pudiendo rozar los 800 mm, más que suficientes para paliar las exiguas carencias pluviales del invierno y contando por ende con una estación de sequía corta y mal definida.

La morfología agreste de las laderas condiciona una rápida distribución de los caudales excedentes en flujos tanto superficiales como subsuperficiales y epidérmicos, que además se ven enriquecidos con importantes aportes de agua provenientes del área del geosistema I. Una consecuencia primera de los grandes caudales que discurren por estas elevadas laderas es la saturación de los suelos y de los niveles más próximos del subsuelo que, al embeberse de agua, se tornan altamente inestables, facilitándose un activo modelado por arroyada, reptaciones, asentamientos y deslizamientos del terreno. Localmente, sobre los niveles escarpados de las laderas rocosas es posible el modelado por fenómenos de desprendimiento y caída libre. La edafogénesis en estos dinámicos ambientes es lenta y difícil, sobre todo en el interior de las agrestes laderas de valles y cabeceras erosivas, dominadas por las acciones morfogenéticas. Por ello, la

distribución de los suelos se encuentra notablemente matizada, mostrando toposecuencias que intercalan, *grosso modo*, andosoles úmbricos -sobre recubrimientos cineríticos de las laderas convexas- y leptosoles líticos -sobre laderas rectas y cóncavas del interior de los valles-.

La cubierta forestal, más espesa y diversificada que en el ámbito del geosistema anterior, cumple un rol importante como elemento de protección del suelo y de mantenimiento de la frágil estabilidad de las laderas. Efectivamente, además del pino *Hartwegii*, el “piso montano” de vegetación en el que se halla inmerso este geosistema II está definido por la presencia de otro elemento fundamental de la flora serrana, el oyamel. Ambas especies conforman comunidades mixtas -o monoespecíficas de oyamel-, densas y bien estratificadas, con un sotobosque enriquecido por la presencia de elementos propios del cortejo de ambas especies.

Por lo que respecta a las actividades humanas, son apenas representativas debido a la lejanía y al difícil acceso a estas tierras, siendo los aprovechamientos silvícolas ilegales los más importantes por las alteraciones que suelen ocasionar en la estabilidad del sistema natural. Son de destacar también los desmontes que se han efectuado a fin de introducir vías, carreteras y caminos de acceso, así como los tendidos eléctricos que atraviesan la sierra, con escasas acciones tendentes a reparar los daños causados a los bosques; no obstante ciertas intervenciones restauradoras se han realizado, como algunas exitosas reforestaciones con abetos y pinos de alta montaña. Accesoriamente se realizan actividades agropastoriles de muy baja intensidad, para lo cual se abren claros de pequeñas dimensiones que no llegan por lo general a romper la continuidad geoecológica.

En el renglón de los aprovechamientos destaca la extracción de una parte de los recursos hídricos mediante el entubamiento de los cursos superficiales y de las fuentes naturales o bien su retención en reservorios (Presa Iturbide), con muy importantes alteraciones, en principio, sobre ciclo hidrológico y, luego, sobre los suelos y la vegetación mesófila y sobre la dinámica geomorfológica y ecológica en su conjunto, sin dejar de lado las repercusiones que este manejo antrópico del agua y el desequilibrio ecológico tienen sobre los otros subsistemas naturales de la vertiente. En especial, destaca el impacto que

representan las tomas de agua para el funcionamiento los sistemas naturales que se disponen en niveles altitudinales más bajos de la sierra.

En todo caso, la heterogeneidad natural aunada a una modesta participación del hombre propicia en este geosistema una mayor diversificación del contenido paisajístico -que está constituido por ocho geofacies distintas- y una más acusada fragmentación del territorio en un mosaico de pequeñas geocoras.

II₁. La geofacies del bosque de oyamel (*Abies religiosa*) sobre andosol úmbrico en laderas resguardadas.

No obstante su emplazamiento dentro de la franja potencial de oyamel, los bosques monoespecíficos de esta especie son muy sensibles y poco frecuentes en este geosistema, hallándose por lo general resguardados del embate atmosférico y en especial de las bajas térmicas y de la fuerza física del viento en nichos particularmente húmedos y frescos de laderas orientadas a sotavento. Como consecuencia de ello y según se ejemplifica en la pirámide de vegetación II₁, los oyameles de este sistema, aunque dispersos, se encuentran siempre conformando un tipo de geofacies cerrada y complejamente estratificada, con dos niveles arbóreos y el arborescente además de densos sotobosques, que otorgan al conjunto una importante masa vegetal. Sin embargo, la composición florística de estos sotobosques no difiere de la de otros abetales de la vertiente, con la jarilla (*Senecio salignus*) como elemento arbustivo más representativo y con estrato herbáceo rico en rosáceas y gramíneas.

No obstante el alto valor de la morfodinámica que afecta amplios sectores, los paisajes de abetal puro de las altas laderas de la sierra gozan en términos generales de buen estado de conservación e inmejorables perspectivas de regeneración -con ejemplares de *Abies religiosa* en todos los estratos de la formación-. La vegetación forestal es acorde con los andosoles úmbricos que la soportan y con los que mantienen estrechas relaciones de pervivencia, sobre todo en el sentido de que la primera sirve de almacén físico que controla la tendencia reptante de los suelo en fuerte pendiente y de los mantos subsuperficiales, con lo que mitiga los riesgos por daños debidos a fenómenos de gravedad.

GEOFACIES: II	Bosque de oyamel (<i>Abies religiosa</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Presa Iturbide	
ALTITUD (msnm): 3270	PENDIENTE: 20°	EXPOSICIÓN: Umbría (Noroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera inferior del cerro Prieto, vertiente al río Cuautitlán		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
Abies religiosa	3	1
Abundancia: 3	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
Abies religiosa	3	2
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
Abies religiosa	2	2
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Senecio salignus	2	2
Abies religiosa	2	2
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Abies religiosa	1	1
Rosácea	4	3
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Musgo alto	4	5
Musgo bajo	+	2
Gramínea hoja plana	4	4
Alchemilla sp.	+	1
Rosácea	3	3
Senecio salignus	+	1
Eryngium ranunculoides	+	1
Veronica americana	+	1
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	

II₂. La geofacies del bosque mixto de oyamel (*Abies religiosa*) y pino de alta montaña (*Pinus Hartwegii*) con sotobosque de senecios (*Senecio barba-Johannis* y *S. roldana*) y pegarropa (*Acaena elongata*) sobre andosol úmbrico en laderas expuestas.

Al igual que la de los abetales, esta geofacies tiene carácter forestal y presenta gran desarrollo vertical con dos estratos arbóreos: uno superior, constituido por una mezcla de pino de alta montaña y oyamel; y otro inferior compuesto casi siempre sólo de oyamel, bajo el que se encuentra un estrato arborescente por lo general bastante abierto. El sotobosque, altamente densificado, cuenta en el estrato arbustivo con los renuevos de ambas especies arbóreas que se intercalan con otros arbustos indicadores de ambientes de montaña como las escobillas (*Baccharis conferta*) y la pegarropa (*Acaena elongata*), además de la jarilla (*Senecio salignus*), de mayor dominio en la vertiente pero que, junto a los otros, se ha identificado como claro representante del cortejo florístico de las comunidades de pináceas (pirámides de vegetación II₂ y II_{2.1}). En alguna estación de inventario, como la reflejada en la pirámide de vegetación II_{2.2}, se observa una variante poco difundida -que se ha identificado en los bosques de Distrito Federal- y que está definida por un amplio dominio en el sotobosque de *Senecio roldana* y de *Cunila lythrifolia*, plantas con más alto nivel de presencia en las porciones meridionales de la vertiente.

A pesar de la frágil estabilidad característica de estas elevadas laderas montañosas, los sectores forestados por estas comunidades mixtas muestran un alto grado de estabilidad y, no obstante el daño producido por el desmonte y en general por la presencia del hombre, el potencial ecológico del área es sin duda destacable y permite altos índices de regeneración vegetal -los más evidentes de la vertiente-, los cuales se manifiestan en primera instancia en los renuevos de pinos y oyameles presentes -como se ha dicho- en todos los estratos o pisos de la pirámide. Puede decirse por ello que las laderas que aún mantienen este tipo de recubrimiento vegetal se pueden considerar estables.

GEOFACIES: II:	Bosque mixto de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y pino de alta montaña (<i>P. Hartwegii</i>) con sotobosque de senecios (<i>Senecio barba-Johannis</i> y <i>S. roldana</i>) y pegarropa (<i>Acaena elongata</i>).	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Cerro Prieto	
ALTITUD (msnm): 3441	PENDIENTE: 21°	EXPOSICIÓN: Umbria (Noreste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera media del cerro, vertiente al río Cuautitlán		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Manto cinerítico sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Pinus Hartwegii</i>	2	2
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Abies religiosa</i>	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Pinus Hartwegii</i>	1	1
<i>Abies religiosa</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Estable	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Acaena elongata</i>	3	4
<i>Baccharis conferta</i>	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Festuca amplissima</i>	5	5
<i>Potentilla heterophylla</i>	+	2
<i>Acaena elongata</i>	3	3
<i>Alchemilla sp.</i>	+	1
Musgo bajo	+	1
Rosácea (herbácea rastrera)	+	3
Abundancia: 5	Dinámica: Poco progresiva	

GEOFACIES: II.1	Bosque mixto de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y pino de alta montaña (<i>P. Hartwegii</i>) con sotobosque de senecios (<i>Senecio barba-Johannis</i> y <i>S. roldana</i>) y pegarropa (<i>Acaena elongata</i>).	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Cerro Prieto	
ALTITUD (msnm): 3377	PENDIENTE: 33°	EXPOSICIÓN: Umbria (Noreste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera inferior del cerro, vertiente al río Cuautitlán		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Pinus Hartwegii</i>	2	1
<i>Abies religiosa</i>	3	1
Abundancia: 3	Dinámica: Estable	

ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
Abies religiosa	3	3
Abundancia: 3	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Abies religiosa	1	1
Senecio salignus	1	2
Pinus Hartwegii	+	2
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Abies religiosa	+	1
Senecio salignus	+	1
Pinus Hartwegii	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Musgo alto	4	5
Musgo bajo	+	2
Acaena elongata	1	3
Lamourouxia multifida	+	2
Senecio salignus	+	1
Eryngium ranunculoides	+	1
Abies religiosa	+	1
Gramínea de hoja plana	+	1
Stevia salicifolia	+	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	

GEOFACIES: II _{12.2}	Bosque mixto de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y pino de alta montaña (<i>P. Hartwegii</i>) con sotobosque de senecios (<i>Senecio barba-Johannis</i> y <i>S. roldana</i>) y pegarropa (<i>Acaena elongata</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Desierto de los leones	
ALTITUD (msnm): 3360	PENDIENTE: 15°	EXPOSICIÓN: Umbría (Oeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera inferior del valle del río borracho		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

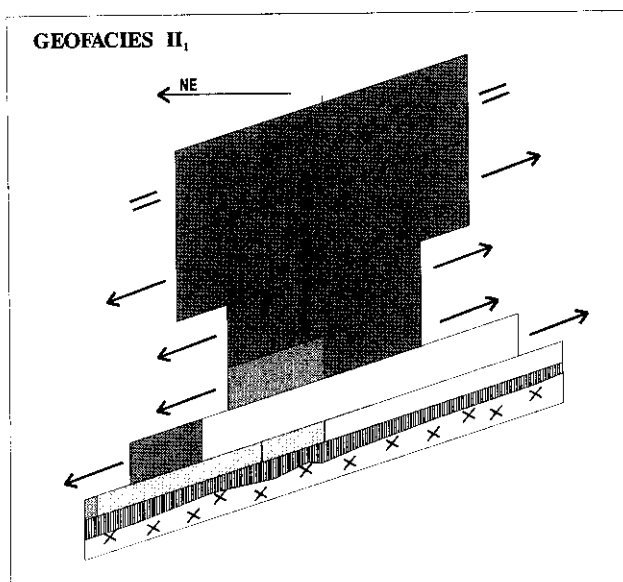
ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
Abies religiosa	3	2
Abundancia: 3	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
Pinus Hartwegii	1	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
Abies religiosa	1	3
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Senecio roldana	3	3
Cunila lythrifolia	1	2
Pinus Leiophylla	+	2

Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Acaena elongata</i>	2	3
<i>Senecio roldana</i>	+	1
<i>Baccharis conferta</i>	+	1
<i>Pteridium aquilinum</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBACEO		
<i>Acaena elongata</i>	5	5
Gramínea tipo avena	2	2
<i>Gnaphalium oxyphyllum</i>	1	2
<i>Senecio roldana</i>	+	1
<i>Muhlenbergia macroura</i>	+	1
<i>Hieracium mexicanum</i>	+	1
Musgo	+	1
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	

II₃. La geofacies del matorral húmedo de escobilla (*Baccharis conferta*) o de jarilla (*Senecio salignus*) y eupatorium (*Eupatorium sp.*) sobre andosol háplico en laderas cineríticas expuestas.

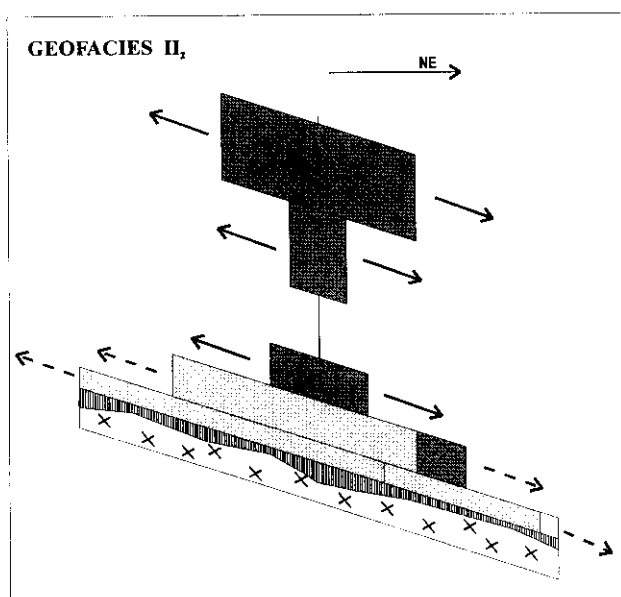
Algunos sectores de ladera, que, después de haber sido despojados de su recubrimiento forestal, han quedado más o menos libres de las presiones antrópicas durante un tiempo relativamente dilatado, aparecen recolonizadas por formaciones de matorral. No presentan éstas un contenido florístico totalmente homogéneo, sino que -dado el carácter mixto de los bosques de coníferas con los que se asocian- son notablemente variadas desde este punto de vista y también en lo que se refiere a la estructura, hasta el punto de que adoptan fisionomías tan distintas que no hacen pensar que se encuentren ligadas genéticamente. No obstante ello, la forma en que se distribuyen estas comunidades matorral -entremezcladas a modo de enclaves con los bosques mixtos de coníferas- y la estrecha relación que mantienen con la vegetación de estos últimos los familiariza y, en la línea expuesta por Rzedowskii (1988), parece claro que se trata de facies paisajísticas muy relacionadas.

Se han identificado en estas elevadas laderas dos tipos básicos de comunidades matorral. Por una parte están, como se aprecia en la pirámide II₃, las que tienen a la escobilla (*Baccharis conferta*) como elemento dominante en el estrato arbustivo, el cual comparte con algunas gramíneas altas (*Stipa ichu*) y con



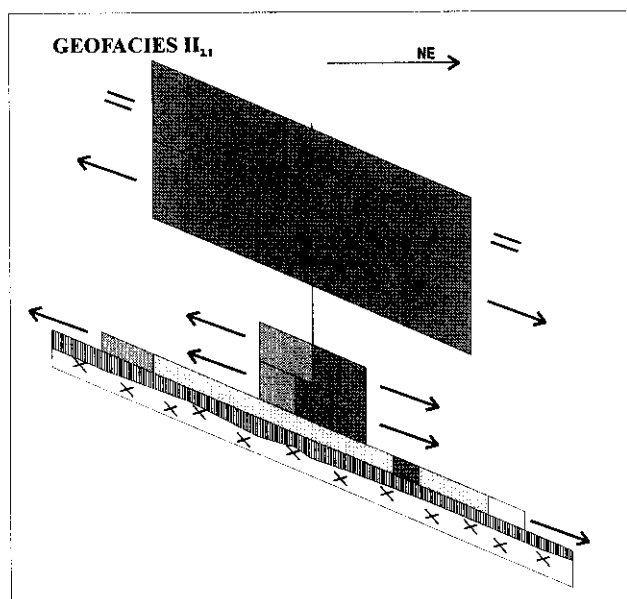
Bosque de oyamel (*Abies religiosa*)

- Arbustos de amplia distribución: *Senecio salignus*
- Hierbas de amplia distribución: musgo alto y bajo
- Oyamel: *Abies religiosa*
- Hierbas de altura: *Alchemilla sp.*, *Eryngium ranunculoides* y *Veronica americana*
- Otras: Rosácea y gramínea de hoja plana
- Suelo: andosoil úmbrico
- Substrato rocoso



Bosque mixto de oyamel (*Abies religiosa*) y pino de alta montaña (*P. Hartwegii*), con sotobosque de senecios (*Senecio spp.*) y/o pegarropa (*Acaena elongata*)

- Hierbas de amplia distribución: *Festuca amplissima*, *Potentilla heterophylla* y musgo
- Pino de alta montaña: *Pinus Hartwegii*
- Oyamel: *Abies religiosa*
- Arbustos húmedos: *Baccharis conferta*
- Hierbas de altura: *Acaena elongata*, *Alchemilla sp.*
- Otras: rosácea
- Suelo: andosoil úmbrico
- Substrato rocoso



Bosque mixto de oyamel (*Abies religiosa*) y pino de alta montaña (*P. Hartwegii*), con sotobosque de senecios (*Senecio spp.*) y/o pegarropa (*Acaena elongata*)

- Arbustos de amplia distribución: *Senecio salignus* y *Stevia salicifolia*
- Hierbas de amplia distribución: musgo alto y bajo
- Pino de alta montaña: *Pinus Hartwegii*
- Oyamel: *Abies religiosa*
- Hierbas de altura: *Acaena elongata*, *Eryngium ranunculoides* y *Lamoureauxia multifida*
- Otras: Gramínea de hoja plana
- Suelo: andosoil úmbrico
- Substrato rocoso

Figura 10.3. Pirámides de vegetación de las geofacies II₁, II₂ y II_{2,1}.

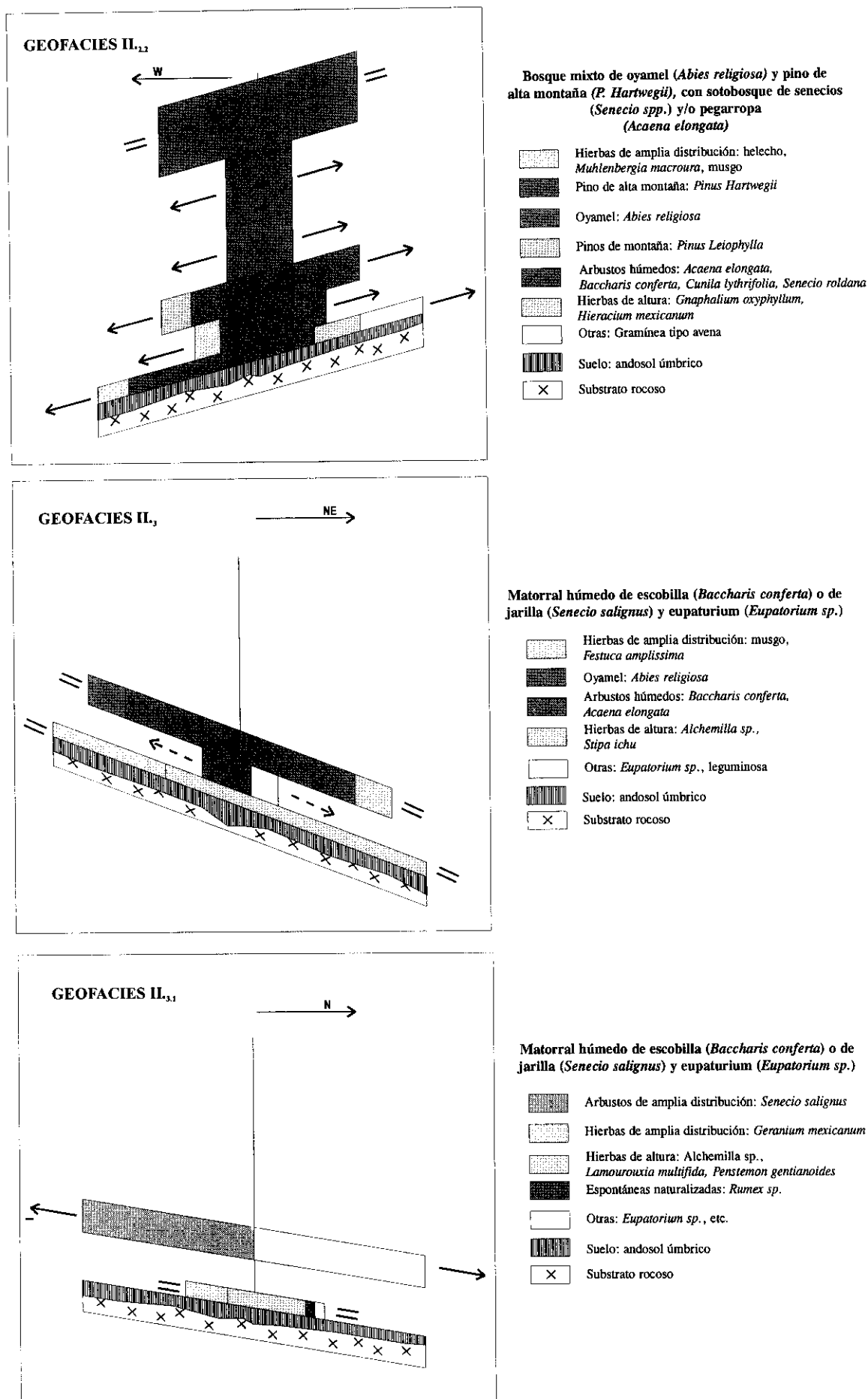


Figura 10.4. Pirámides de vegetación de las geofacies II_{2,2}, II₃ y II_{3,1}

renuevos del pino de alta montaña (*Pinus Hartwegii*) y de oyamel (*Abies religiosa*) que, al parecer, se resguardan por debajo del dosel conformado por los arbustos. Además, toda la superficie del suelo aparece recubierta por un tapiz herbáceo de plantas especializadas en ambientes de montaña, como la *Alchemilla sp.* y variadas rosáceas y gramíneas típicas de los sotobosques de coníferas. Por otra parte se encuentran (como se expresa en la pirámide II_{3.1}) los matorrales de jarilla (*Senecio salignus*) y eupatorium (*Eupatorium sp.*), plantas muy expandidas en toda la vertiente y que aquí son codominantes en el estrato arbustivo, mucho más importante que el herbáceo, en donde se enmarañan una amplia variedad de elementos escasamente representados. En cualquiera de los dos casos el alto potencial de los andosoles que recubren estas laderas supera las exigencias de los matorrales, que por ello mantienen una línea de evolución progresiva manifiesta en la presencia dispersa de los renuevos de pinos y oyameles.

GEOFACIES: II ₃	Matorral húmedo de escobilla (<i>Baccharis conferta</i>) o de jarilla ((<i>Senecio salignus</i>) y eupatorium (<i>Eupatorium sp.</i>))	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Camino a la Presa Iturbide	
ALTITUD (msnm): 3304	PENDIENTE: 25°	EXPOSICIÓN: Solana (Este)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Cabecera de valle		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBUSTIVO		
Baccharis conferta	4	5
Stipa ichu	+	1
Abies religiosa	+	1
Abundancia: 4	Dinámica: Estable	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Acaena elongata	1	1
Baccharis conferta	1	3
Eupatorium sp.	+	2
Leguminosa	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Alchemilla sp	5	5
Musgo	1	5
Festuca amplissima	1	3
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	

GEOFACIES: II _{3.1}	Matorral húmedo de escobilla (<i>Baccharis conferta</i>) o de jarilla (<i>Senecio salignus</i>) y eupatorium (<i>Eupatorium sp.</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: camino a la Presa Iturbide	
ALTITUD (msnm): 3240	PENDIENTE: 11	EXPOSICIÓN: Umbria (Norte)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera media de cerro, vertiente al río Santa Ana		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Senecio salignus</i>	5	5
<i>Eupatorium sp</i>	5	5
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Geranium mexicanum</i>	2	5
<i>Lamourouxia multifida</i>	2	4
<i>Penstemon gentianoides</i>	+	2
<i>Rumex sp</i>	1	2
<i>Alchemilla sp</i>	+	1
Otras herbáceas	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Estable	

II₄. La geofacies del zacatonal de *Muhlenbergia macroura* con pino de alta montaña (*Pinus Hartwegii*) y jarilla (*Senecio salignus*) sobre andosol háplico en laderas cineríticas expuestas.

Otra parte de las altas laderas de morfología abierta que perdieron su cubierta forestal están tapizadas por un manto vegetal denso y continuo pero que representa un tipo de ocupación biológica poco evolucionado en el que predominan los elementos herbáceos, el cual parece ser respuesta al abandono reciente de actividades relacionadas con la presencia humana en el área. Se aprecia así cómo sobre los andosoles úmbricos que estuvieron desnudos hasta hace poco tiempo como consecuencia de su intento de puesta en cultivo se ha desarrollado un enriquecido manto de rosáceas y gramíneas de afinidades montañosas, paisajísticamente definido por la abundante presencia de zacatones de talla subarbustiva -*Stipa ichu* y *Agrostis semiverticillata*- acompañados por ejemplares de otras grandes gramíneas de amplia distribución ecológica - *Muhlenbergia macroura* y, en segundo plano, *Deschampsia pringlei*-, además de otros elementos arbustivos dispersos pero siempre presentes como la jarilla (*Senecio salignus*) y la escobilla (*Baccharis conferta*). En las pirámides II₄ y II_{4.1}

se aprecia que, si bien el dosel vegetal así formado no es suficiente para permitir el crecimiento de los oyameles, sí lo es para el desarrollo de los renuevos de pino de alta montaña (*P. Hartwegii*), algunos de cuyos pies jóvenes alcanzan la talla arborescente e incluso la arbórea. Debido a ello considerables superficies de este zacatonal -dentro del recinto del Parque Nacional Desierto de los Leones- han sido objeto de reforestación con con pino de altura, que -plantado en hoyos- se adapta y evoluciona con bastante facilidad de forma silvestre.

GEOFACIES: II ₄	Zacatonal de <i>Muhlenbergia macroura</i> con pino de alta montaña (<i>Pinus Hartwegii</i>) y jarilla (<i>Senecio salignus</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Desierto de los leones	
ALTITUD (msnm): 3350	PENDIENTE: 5°	EXPOSICIÓN: Umbría (Norte)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Fondo del valle del río Borracho		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Rellenos piroclásticos		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Acueducto/Reforestaciones		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBUSTIVO		
Senecio salignus	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Muhlenbergia macroura	5	5
Stipa ichu	+	2
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBACEO		
Alchemilla sp.	1	2
Musgo	+	2
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

GEOFACIES: II _{4.1}	Zacatonal de <i>Muhlenbergia macroura</i> con pino de alta montaña (<i>Pinus Hartwegii</i>) y jarilla (<i>Senecio salignus</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Desierto de los Leones	
ALTITUD (msnm): 3340	PENDIENTE: 5°	EXPOSICIÓN: Umbría (Norte)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Fondo del valle del río Borracho		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Rellenos piroclásticos		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Acueducto/Reforestaciones		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Pinus Hartwegii</i>	2	1
Abundancia: 2	Dinámica: Moderadamente progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		

Senecio salignus	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Muhlenbergia macroura	2	2
Penstemon genteanoides	1	1
Agrostis semiverticillata	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBACEO		
Festuca amplissima	5	5
Baccharis conferta	1	1
Alchemilla sp.	1	1
Acaena elongata	+	1
Gnaphalium inortatum	+	1
Musgo	+	1
Liquen	+	1
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	

II.5. La geofacies del zacatal de *Festuca amplissima* con pino de alta montaña (*P. Hartwegii*) sobre andosol háplico en laderas cineríticas expuestas.

Los sectores de ladera, por lo general saturados, que han sido más afectados por la presencia y las actividades del hombre están recubiertos, como se aprecia en la pirámide de vegetación correspondiente, por un manto discontinuo de pastos bajos que contienen ya dentro del *stock* florístico ciertos elementos de talla arbustiva señalados como típicos de la comunidad de los matorrales húmedos de escobilla (*Baccharis conferta*), zacates (*Muhlenbergia macroura*) y renuevos de pino de alta montaña (*Pinus Hartwegii*), cuya presencia se ha de entender como primer indicio de la recuperación de la cubierta biótica originaria.

En la actualidad el valor de las presiones antropógenas tende a ser bajo al tiempo que el potencial regenerativo del medio es de los más altos en el área montañosa de la sierra, permitiéndose que este tipo de vegetación baja sea suficiente para brindar protección a la epidermis de las laderas que así quedan definidas por una morfodinámica moderada y por una dinámica biótica francamente progresiva, tanto de los elementos arbustivos y arbóreos como de los suelos cineríticos sobre los que evolucionan.

GEOFACIES: II:	Zacatal de <i>Festuca amplissima</i> con pino de alta montaña (<i>Pinus Hartwegii</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Camino a la Presa Iturbide	
ALTITUD (msnm): 3310	PENDIENTE: 8°	EXPOSICIÓN: Umbria (Noreste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera media vertiente al río Santa Ana		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: NO se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBUSTIVO		
Baccharis conferta	1	2
Pinus Hartwegii	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Baccharis conferta	1	2
planta sin clasificar	+	1
Muhlenbergia macroura	+	1
Festuca sp.	1	2
Abundancia: 1	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Festuca amplissima	4	5
Alchemilla sp.	3	5
Baccharis conferta	+	1
Festuca rosei	3	5
Pinus Hartwegii	+	1
Musgo	1	2
Penstemon gentianoides	+	1
Abundancia: 5	Dinámica: Poco progresiva	

II.6. La geofacies de las superficies cultivadas sobre andosol háplico en laderas cineríticas expuestas.

Las parcelas dedicadas a la actividad agrícola en las laderas altas de los macizos de Catedral, Las Cruces y San Miguel son siempre escasas y de distribución dispersa, con bajas producciones que están por lo general destinadas al autoconsumo de una población también muy reducida. La lista de los productos que se cultivan a estas altitudes es corta y se compone de plantas propias de ambientes fríos, como la patata. Cabe decir que hasta ahora esta actividad -con la escasa extensión que ocupa y la baja capacidad de alteración ecológica que implica- no se puede considerar catalizadora de alteraciones estructurales dentro del marco del geosistema, aunque sí se le asocia a cambios locales que implican, en principio, pérdidas de materia orgánica en los horizontes superficiales de los

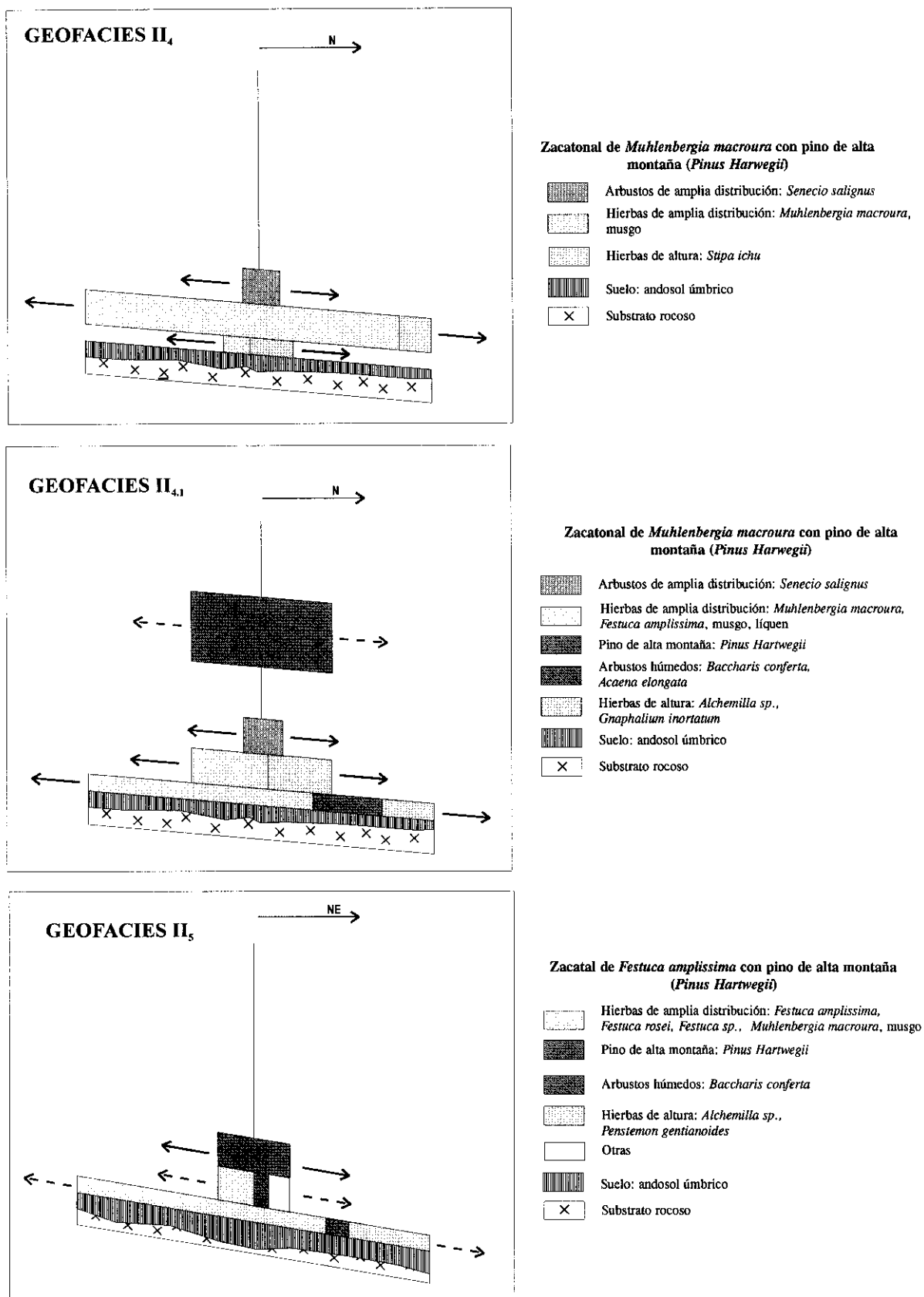


Figura 10.5. Pirámides de vegetación de las geofacies II₄, II_{4,1} y II₅

andosoles de las que se deriva una disminución de la estabilidad y un incremento del valor de las reptaciones epidérmicas que afectan al conjunto de las laderas.

II7. La geofacies de los enclaves perturbados y sin recubrimiento vegetal de los entornos de los ejes de infraestructura.

Ocupa los espacios muy reducidos que se extienden -generalmente a manera de franjas- en los entornos de los caminos, de las líneas de cableado y de los acueductos, cuyos emplazamientos han implicado en primera instancia el movimiento de tierras y con ello la destrucción del suelo y la vegetación, acciones que se han perpetuado debido a la ahora continua presencia del hombre en torno dichos ejes. Comúnmente se trata de tajos que fueron excavados sobre laderas, siendo como regla general empinadas pero de poca altura, por lo que no suelen ser afectadas por procesos de reacomodo que impliquen modelado intenso de vertientes.

10.2.2.1. La serie del abetal con pino de alta montaña de las laderas altas de Catedral, Las Cruces y San Miguel.

La cadena serial que define la dinámica de este geosistema II está condicionada por dos aspectos fundamentales: en primer lugar, el alto valor de las potencialidades ecológicas que permite la colonización de uno de los fitoindicadores arbóreos más exigente de la vertiente -el oyamel-; y en segundo lugar, el hecho de que la serie sustitutoria que ha resultado del análisis integrado de las geofacies -dado el alto potencial y el buen grado de conservación del medio que premia en las laderas- no sigue una dirección degradativa. Las relaciones espaciotemporales reconocibles entre dichas geofacies no implican el paso a comunidades cada vez menos desarrolladas de matorrales y pastizales, sino que a partir de la comunidad clímax de los bosques de oyamel (geofacies II₁), el siguiente eslabón de la serie viene de procesos violentos de destrucción de los bosques para la apertura de parcelas roturadas (geofacies II₆) o de terrenos altamente degradados que han resultado de acciones antropógenas como la deforestación y los incendios (geofacies II₇).

A partir de esta situación de máxima degradación las laderas entran en una evolución francamente progresiva y tendente al retorno de la estabilidad inicial. La primera fase de la recolonización de las laderas desnudas consiste en la colonización del zacatal de *Festuca amplissima* (geofacies II₅) y posteriormente del zacatonal de *Muhlenbergia macroura* (geofacies II₄). En ambos casos destaca la pronta aparición de los fitoindicadores arbustivos de ambientes montañosos y de los primeros pies de pinos y oyameles. Pero estos últimos requieren para prosperar de una pronta evolución hacia formaciones de matorral húmedo (geofacies II₃), cuyo dosel procura ambientes más húmedos y frescos y protege a los árboles jóvenes del embate atmosférico durante las primeras etapas de su crecimiento. Por ello, durante el inicio de la colonización arbórea, los pinos de las comunidades mixtas (geofacies II₂) se convierten en eficaces competidores de los oyameles, no siendo sino hasta la etapa final de la serie en que éstos últimos -ayudados por el cobijo que les brinda la espesura del matorral y de los mismos pinos que han levantado- prosperan en comunidades a veces monoespecíficas muy estables, densas y continuas donde los pinos tienen escasa cabida, consiguiendo con ello el reestablecimiento del estadio inicial (fig. 10.6).

Cabe destacar que bajo el sistema de sustitución de los usos del suelo vigente no se ha trastocado de forma irreversible la estructura de los sistemas naturales, de tal forma que el proceso de regeneración biótica de las laderas es eficaz y cuenta, como norma general, con el tiempo suficiente para alcanzar situaciones próximas a la clímax y cerrar así el ciclo de sustituciones. Puede decirse así que en estas elevadas laderas se registra un estado de frágil estabilidad del equilibrio natural, pero que hasta hoy ha sido escasamente trastocado por dado el tipo y la intensidad de los aprovechamientos antrópicos. Se caracteriza por lo tanto este geosistema por el grado relativamente alto de estabilidad y por el predominio de pasos con tendencia positiva, tendentes a la recuperación natural de los espacios dañados a partir del momento en que ceden las presiones antropógenas. Esta dinámica solamente se rompe en el interior de pequeños enclaves muy afectados por las alteraciones, donde la morfodinámica ligada a la abundante escorrentía en el interior de los valles es intensa.

10.2.3. El geosistema III, frío y muy húmedo de las laderas medias de montaña de Catedral, Las Cruces y San Miguel, con bosques mixtos de oyamel y pinos, y aprovechamiento silvícola.

Es el geosistema de los sectores de ladera que se extienden vertiente abajo del Geosistema II y en algunas grandes cuencas emplazadas en esta porción media-alta de la vertiente y que guardan en común haber sido modeladas sobre potentes acumulaciones de derrames lávicos intercalados con flujos piroclásticos pliocuaternarios muy afectados por la tectónica del SW-NE y que, que por tanto se presentan alteradas y trituradas a lo largo de ejes de fracturación donde se concentra el mayor embate de los procesos externos. Sobre ellas el modelado de bajo los patrones climáticos más fríos del Pleistoceno fue intenso, con apertura y evolución sobre las áreas de fracturación de amplios valles y barrancos encajados hasta en 400 m de profundidad y que hoy se cuentan entre los mayores accidentes topográficos de la vertiente.

A excepción de las porciones más altas de los valles de Las Palomas y La Magdalena, que alcanzan los 3400 msnm, el resto de las superficies incluidas en el geosistema III se dispone por debajo de los 3200 msnm y desciende hasta en torno a los 2900 msnm. Debido a ello, el clima no es tan frío como en las cumbres y laderas de los geosistemas I y II, aunque aún no se superan los 12° C de temperatura media anual ni los 10° C en las medias de los meses de invierno. Además, la orientación y el fuerte declive de los valles crea numerosos "abrigos climáticos", donde las precipitaciones orográficas son particularmente abundantes (más de 1300 mm anuales) y no se sufren los efectos de los incesantes vientos que soplan durante todo el año, constituyéndose como nichos que albergan ciertas configuraciones ecológicas únicas en el contexto serrano. Así, los excedentes hídricos que se generan en estas laderas serranas de mediana altitud alcanzan valores tan altos como los registrados en el geosistema II, lo que, aunado a la gran prominencia topográfica de los valles, genera un intenso flujo de corrientes superficiales, epidérmicas y subsuperficiales, con continuos pasos de un tipo de circulación a otra que se manifiesta en la formación de numerosas fuentes naturales colgadas a distintos niveles sobre las vertientes de los valles.

Este alto potencial de escorrentía incentiva la morfogénesis por arroyada, por desprendimientos y por caída libre de derrubios, permitiendo el predominio de ambientes de gran fragilidad ecológica donde la edafogénesis es, desde luego, limitada y sólo se desarrolla en óptimas condiciones al cobijo de las comunidades boscosas bien conservadas, con las que el suelo establece importantes relaciones bioquímicas de pervivencia. Como se señaló en el capítulo correspondiente de la Primera Parte, el andosol úmbrico es la unidad de suelo más representativa sobre los sectores de ladera planos que permanecen recubiertos de cenizas volcánicas, mientras que sobre las paredes rocosas, desnudas y empinadas, que están sujetas a constantes fenómenos de gravedad y arroyada se presentan facies líticas del andosol o bien del leptosol lítico. No obstante la intensa actividad morfogenética que predomina en numerosos sectores de valle, la vegetación boscosa que se desarrolla sobre los suelos citados es uno de los elementos diferenciadores del paisaje. Al igual que el geosistema anterior, éste se halla inmerso en el “piso montano” de vegetación, caracterizado por bosques mixtos de coníferas, que en este caso cuenta como comunidad potencial con un abetal “bajo”, puro a veces y en la mayor parte de los casos mixto con diversas especies de pinos, entre las cuales ya no se encuentra el *Pinus Hartwegii* (que es sustituido por otras variedades más termófilas).

Si bien es cierto que el agreste relieve acrecienta la sensibilidad geoecológica de las laderas y favorece su inestabilización, también lo es que ha sido un factor que ha dificultado la presencia del hombre y que, por lo tanto, ha frenado y frena aún el proceso de ocupación que ya es preponderante en los vecinos geosistemas de piedemonte. Además la ubicación de los valles en una porción relativamente alta de la sierra y distante de los centros urbanos desmerece las actividades antrópicas, que solamente se dan en baja densidad y se limitan al aclarado de bosques con fines agropecuarios, a la práctica del ocoteo y a la extracción ilícita de recursos maderables y de resinas de los pinos. Pero, por otra parte, la riqueza escénica de estos paisajes arbolados de montaña les ha llevado a constituirse en centros de atracción turística, de gran importancia en el Parque Nacional de los Dínamos en el valle del río La Magdalena. El citado parque merece especial atención, ya que, siendo el más cercano a la urbe, manifiesta de forma más dramática el daño causado por las acciones físicas directas causadas por los visitantes y por las indirectas debidas al acceso y

permanencia en el interior del valle de masas de aire contaminado (que son arrastrados por los vientos del NE desde la capital), con la aparición de geofacies de muy alto grado de perturbación ecológica claros trastornos sobre la vegetación y el suelo que implican desajustes de fondo en la estructura del sistema natural. No obstante, como ya se ha señalado, el geosistema III manifiesta, aún bajo condiciones de tan fuerte alteración, una resistencia natural y una capacidad de regeneración notables, por lo que se define en él una tendencia francamente progresiva en la evolución del sistema.

Si bien es cierto que los geosistemas II y III mantienen similitudes en cuanto a la diversidad (siete geofacies en cada uno) y a la complejidad del entramado paisajístico, hay que recalcar que en este último el incremento del nivel térmico propicia la existencia de un abanico florístico más amplio y enriquecido con especies más adaptadas a un cierto calor, que densifican las cubiertas vegetales e incrementan la biodiversidad en estas laderas medias. Además, -salvo en enclaves de muy fuerte perturbación- la difícil explotación antrópica permite la permanencia en los angostos valles de extensas superficies arboladas, las cuales constituyen geocoras de notable continuidad que contrastan con los más complejos entramados paisajísticos que se dan sobre las divisorias más afectadas por la roturación.

III.1. La geofacies del bosque de oyamel (*Abies religiosa*) con sotobosque de escobilla (*Baccharis conferta*) y senecio (*S. barba-Johannis*) sobre secuencias de andosol úmbrico y leptosol lítico en laderas internas de grandes valles y otros enclaves resguardados.

En amplios sectores de laderas dispuestos en umbría del interior de los empinados valles de los ríos Las Palomas, Cuautitlán, La Cañada del Silencio y La Magdalena, notablemente favorecidos por la pluviosidad y guarecidos del embate mecánico de los vientos, aparece esta geofacies forestal caracterizada por la presencia dominante del oyamel. Estos abetales, como se observa en la pirámide de vegetación correspondiente, son de menor talla aunque de mayor riqueza florística que los analizados a más altura en el geosistema II, contando con una densa masa arborescente que en lo fundamental está constituida por elementos de gran afinidad montañosa, como las escobillas (*Baccharis conferta*)

y senecios "barba de San Juan" (*Senecio barba-Johannis*). Muy significativa, aunque esporádica, es la presencia dentro de este sotobosque de plantas adaptadas a la abundante humedad y al ambiente abrigado, como el cuauchichie (*Garrya laurifolia*), diversas especies de helechos y musgo, así como de otras más termófilas y mejor adaptadas a ciertas labores de aclarado como sucede con el madroño (*Arbutus xalapensis*) y el *Malvastrum lacteum*.

INV. NÚMERO: III	Bosque de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) con sotobosque de escobilla (<i>Baccharis conferta</i>) y senecio (<i>Senecio barba-Johannis</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Camino a la Presa Iturbide	
ALTITUD (msnm): 3125	PENDIENTE: 15°	EXPOSICIÓN: Umbría (Norte)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera de barranca, vertiente al río Santa Ana		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Abies religiosa</i>	4	3
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Baccharis conferta</i>	2	2
<i>Malvastrum lacteum</i>	+	1
<i>Senecio barba-Johannis</i>	3	3
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Senecio platanifolius</i>	1	1
<i>Senecio barba-Johannis</i>	+	1
<i>Baccharis conferta</i>	1	2
Abundancia: 1	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Senecio platanifolius</i>	+	1
<i>Eupatorium aschembornianum</i>	+	1
<i>Senecio andreuxii</i>	1	2
<i>Malvastrum lacteum</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Musgo	5	5
helecho	2	2
<i>Penstemon gentianoides</i>	1	2
helecho	+	2
Gramínea de hoja ancha	3	2
<i>Eupatorium petiolare</i>	3	4
<i>Senecio platanifolius</i>	1	2
<i>Thelypodium pallidum</i>	1	1
<i>Arracacia atropurpurea</i>	+	1
<i>Alchemilla procumbens</i>	1	2
Abundancia: 5	Dinámica: Poco progresiva	

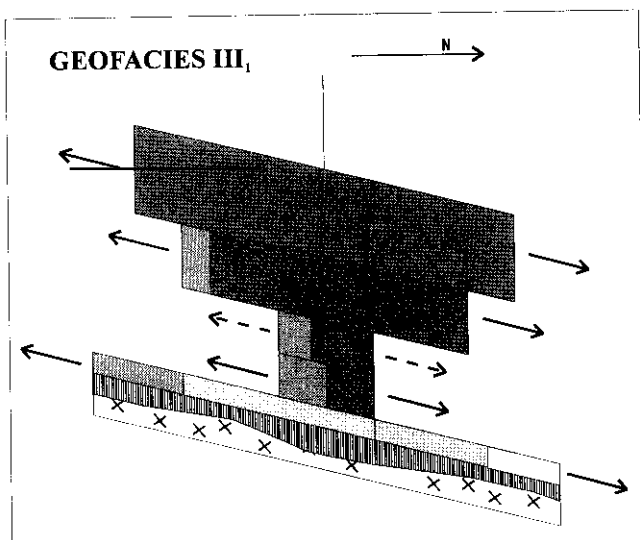
Los valles poco accesibles donde esta facies paisajística se localiza se han mantenido fuera del radio de acción de mayores impactos humanos, por lo que estos abetales conforman manchones extensos en buen estado de conservación y en notable equilibrio con los suelos cineríticos que los soportan. Sin embargo, un inevitable decremento de los potenciales naturales relacionado con la

inestabilidad natural de las vertientes e incentivado por los efectos indirectos de la cercanía a una enorme concentración urbana, ha mermado de forma apreciable la capacidad de regeneración de los oyameles en las últimas décadas, apareciendo hoy como comunidades maduras y densas pero sin un soporte de renuevos de abeto que asegure su nivel de abundancia-dominancia.

III₂. La geofacies del bosque de pinos (*P. Leiophylla* y *P. Montezumae*) y oyamel (*Abies religiosa*) con sotobosque de senecio (*S. roldana* y *S. barba-Johannis*) sobre andosol úmbrico en vertientes y laderas expuestas.

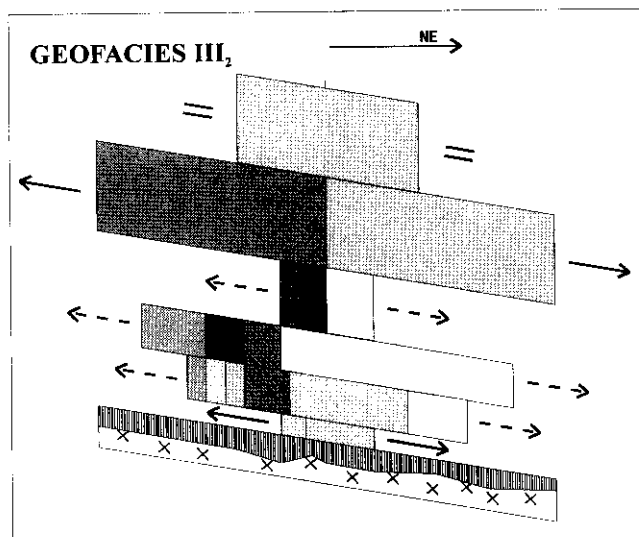
Esta geofacies, caracterizada por un alto y denso dosel de pinos con oyamel, es propia de laderas cineríticas de declive moderado y recubiertas por gruesos mantos de andosoles úmbricos que suelen corresponde con las divisorias entre barrancos afluentes a los valles y con algunas laderas bien iluminadas y aireadas. Dado el nivel térmico alcanzado en ellas está ausente el pino de alta montaña (*P. Hartwegii*), que es sustituido por otras especies más termófilas, como el pino chino (*P. Leiophylla*) y el pino de Moctezuma (*P. Montezumae*), los cuales se combinan en muy diversas proporciones pero siempre con presencia del frágil oyamel que aprovecha el dosel de los pinos para crecer. Se forman así cubiertas forestales mixtas, altas y con fisionomía variable según sea el contenido concreto y la estructura de la comunidad. Sin embargo, todas ellas suelen incluir dos estratos arbóreos y densos sotobosques particularmente ricos en los estratos inferiores, entre cuyos componentes destacan por su talla algunas especies arbustivas e individuos jóvenes de pino y de latifoliadas, que en conjunto conforman un manto tupido y en expansión. El estrato arbóreo superior está siempre ocupado por los pinos, mientras que el oyamel, siempre a resguardo, puede bajar al estrato arbóreo inferior cuando el dosel de pinos no le brinda suficiente protección, como se puede observar al comparar las pirámides III₂ y III_{2.1}.

A pesar de que algunas áreas abiertas, como las divisorias entre barrancos, han sido objeto de grandes transformaciones antropógenas, destaca en ellas una notable estabilidad de los enclaves naturales que aún perviven y que se intercalan con cierta armonía con los sitios de uso antrópico. Sin embargo, cabe advertir que los desmontes para la implantación de modestos enclaves agropecuarios o para el trazado de líneas de infraestructura cortan con la



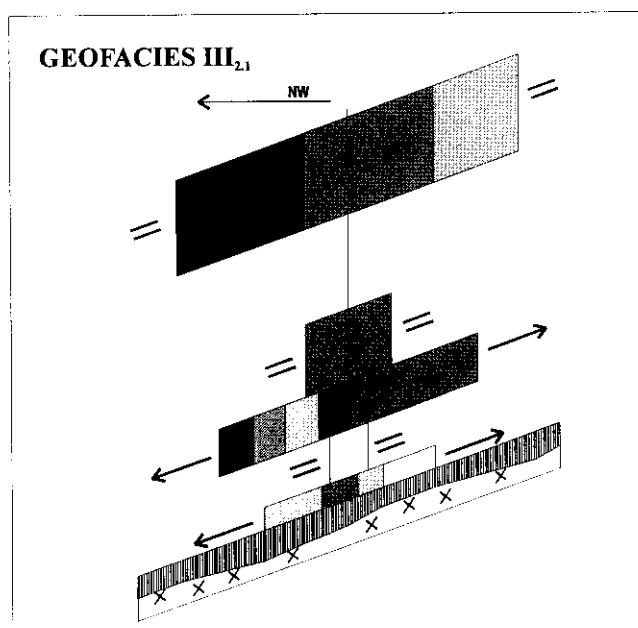
Bosque de oyamel (*Abies religiosa*) con sotobosque de escobilla (*Baccharis conferta*) y senecio (*Senecio barba-Johannis*)

- Arbustos de amplia distribución: *Malvastrum lacteum*, *Senecio platanifolius*
- Hierbas de amplia distribución: musgo, helecho
- Oyamel: *Abies religiosa*
- Arbustos húmedos: *Baccharis conferta*, *Eupatorium aschombornianum*, *Senecio andreuxii*, *Senecio barba-Johannis*
- Hierbas de altura: *Alchemilla procumbens*, *Arracacia atropurpurea*, *Penstemon gentianoides*, *Thelypodium pallidum*
- Otras: graminéa
- Suelo: andosol úmbrico
- Substrato rocoso



Bosque de pinos (*Pinus Leiophylla* y *P. Montezumae*) y oyamel (*Abies religiosa*) con sotobosque de senecios (*Senecio roldana* y *S. Barba-Johannis*)

- Otras latifoliadas de amplia distribución: *Arbutus glandulosa*
- Arbustos de amplia distribución: *Eupatorium glabratum*, *Stevia salicifolia*
- Hierbas de amplia distribución: *Lobelia laxiflora*, *Cirsium ehrenbergii*
- Oyamel: *Abies religiosa*
- Pinos de montaña: *Pinus Montezumae*
- Otras latifoliadas de montaña: *Arctostaphylos arguta*
- Arbustos húmedos: *Baccharis conferta*, *Ribes affine*
- Hierbas de altura: *Aristida sp.*, *Arracacia atropurpurea*, *Galium uncinatum*, *Lamourouxia multifida*, *Salvia elegans*
- Otras: compuesta, leguminosa
- Suelo: andosol úmbrico
- Substrato rocoso



Bosque de pinos (*Pinus Leiophylla* y *P. Montezumae*) y oyamel (*Abies religiosa*) con sotobosque de senecios (*Senecio roldana* y *S. Barba-Johannis*)

- Pinos de amplia distribución: *Pinus Leiophylla*
- Arbustos de amplia distribución: *Eupatorium glabratum*
- Hierbas de amplia distribución: *Festuca sp.*, *Fragaria mexicana*, *juncácea*, *Salvia fulgens*, *Stevia monardaefolia*
- Oyamel: *Abies religiosa*
- Pinos de montaña: *Pinus Montezumae*
- Latifoliadas de montaña: *Arctostaphylos arguta*
- Arbustos húmedos: *Baccharis conferta*, *Senecio barba-Johannis*, *Senecio roldana*
- Hierbas de altura: *Alchemilla procumbens*, *Bidens ostruthioides*
- Otras: *Quercus sp.*, graminéa tipo avena, planta sin clasificar
- Suelo: Andosol úmbrico
- Substrato rocoso

Figura 10.7. Pirámides de vegetación de las geofacies III₁, III₂ y III_{2,1}

continuidad paisajística de los bosques y ocasionan evidentes alteraciones del potencial ecológico, que se traducen en dificultades para la regeneración del sensible oyamel al tiempo que otros elementos más agresivos y tolerantes a los antropismos se convierten en serios competidores de las coníferas, como es el caso del garambuyo (*Arctostaphylos arguta*), del madroño (*Arbutus glandulosa*) y de los senecios (*Senecio roldana* y *S. barba-Johannis*), cuyo proceso expansivo les permite conformar estratos espesos que ya alcanzan la talla arborescente.

INV. NÚMERO: III:	Bosque mixto de pinos (<i>Pinus Leiophylla</i> y <i>P. Montezumae</i>) y oyamel (<i>Abies religiosa</i>) con sotobosque de senecios (<i>Senecio roldana</i> y <i>S. barba-Johannis</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Camino a la presa Iturbide	
ALTITUD (msnm): 3156	PENDIENTE: 11°	EXPOSICIÓN: Umbría (Noreste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera sobre frente de lava		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Pinus Montezumae</i>	2	1
Abundancia: 2	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Pinus Montezumae</i>	4	3
<i>Abies religiosa</i>	4	4
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
Compuesta	1	2
<i>Arbutus glandulosa</i>	+	1
<i>Arctostaphylos arguta</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Compuesta	4	5
<i>Ribes affine</i>	+	1
<i>Arctostaphylos arguta</i>	+	1
<i>Eupatorium glabratum</i>	1	1
Abundancia: 4	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Ribes affine</i>	+	1
<i>Aristida sp.</i>	3	4
<i>Salvia elegans</i>	+	1
<i>Galium uncinatum</i>	+	1
Leguminosa	+	1
<i>Stevia salicifolia</i>	+	1
<i>Lobelia laxiflora</i>	+	1
<i>Arracacia atropurpurea</i>	+	1
<i>Baccharis conferta</i>	+	1
<i>Pinus Montezumae</i>	+	1
<i>Acaena elongata</i>	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Cirsium ehrenbergii</i>	+	1
<i>Aristida sp.</i>	1	1
<i>Lamourouxia multifida</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Poco progresiva	

INV. NÚMERO: III _{2.1}	Bosque mixto de pinos (<i>Pinus Leiophylla</i> y <i>P. Montezumae</i>) y oyamel (<i>Abies religiosa</i>) con sotobosque de senecios (<i>S. roldana</i> y <i>S. barba-Johannis</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Camino a la Presa Iturbide	
ALTITUD (msnm): 2975	PENDIENTE: 22°	EXPOSICIÓN: Umbría (Noroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera superior de barranco		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Abies religiosa</i>	3	1
<i>Pinus Montezumae</i>	3	1
<i>Pinus Leiophylla</i>	2	1
Abundancia: 4	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Senecio roldana</i>	1	1
Abundancia: 1	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Senecio roldana</i>	2	2
<i>Senecio barba-Johannis</i>	2	2
<i>Arctostaphylos arguta</i>	1	1
<i>Pinus Leiophylla</i>	1	1
<i>Eupatorium glabratum</i>	1	1
Juncácea	1	3
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Leguminosa	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Estable	
ESTRATO HERBÁCEO		
Herbácea flor rosa	+	1
<i>Senecio roldana</i>	+	1
<i>Stevia monardaefolia</i>	2	2
Gramínea tipo avena	1	2
<i>Bidens ostruthioides</i>	+	1
<i>Salvia fulgens</i>	+	1
<i>Fragaria mexicana</i>	+	1
<i>Quercus sp</i>	+	1
<i>Alchemilla procumbens</i>	+	1
Leguminosa	+	1
<i>Festuca sp.</i>	+	1
<i>Acaena elongata</i>	+	1
<i>Baccharis conferta</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	

III₃. La geofacies de los bosques alterados de oyamel (*Abies religiosa*) y pinos (*Pinus spp.*) con sotobosque de senecio (*S. barba-Johannis*) y escobilla (*Baccharis conferta*) sobre secuencias de andosol úmbrico y leptosol lítico en vertientes y laderas de valle.

Esta particular facies paisajística del geosistema III se halla casi de forma exclusiva en el valle del río La Magdalena donde, según se ha explicado con

anterioridad, los densos bosques de oyamel y los mixtos de ésta especie con pinos constituyen una de las mayores riquezas forestales de la sierra; una riqueza que hoy en día desafortunadamente está afectada por un grave proceso de degradación ambiental que lleva a la destrucción más que gradual de las formaciones forestales que la constituyen. La prominencia topográfica del valle, con sus laderas casi verticalizadas, le ha atraído de forma indirecta consecuencias negativas al servir de barrera física que frena el avance y retiene las masas de aire que, en este sector meridional de la sierra, arriban cargadas de contaminantes industriales y urbanos en general.

INV. NÚMERO: IIIb	Bosque alterado de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y pinos (<i>Pinus spp.</i>) con sotobosque de senecio (<i>Senecio barba-Johannis</i>) y escobilla (<i>Baccharis conferta</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Parque Nacional de los Dínamos	
ALTITUD (msnm): 3060	PENDIENTE: 25°	EXPOSICIÓN: Solana (Sureste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera inferior del valle del río la Magdalena		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Desmontes/Veredas		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Abies religiosa</i>	2	1
Abundancia: 2	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Senecio barba-Johannis</i>	3	3
<i>Baccharis conferta</i>	1	2
<i>Garrya laurifolia</i>	+	1
<i>Senecio roldana</i>	+	1
<i>Salix oxylepis</i>	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Avena fatua</i>	3	3
<i>Gnaphalium inortatum</i>	2	1
<i>Senecio barba-Johannis</i>	1	2
<i>Senecio roldana</i>	1	2
<i>Acaena elongata</i>	1	2
<i>Eupatorium sp.</i>	1	2
<i>Baccharis conferta</i>	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBACEO		
<i>Alchemilla sp.</i>	3	3
<i>Acaena elongata</i>	2	3
Musgo	2	3
<i>Avena fatua</i>	1	3
<i>Gnaphalium inortatum</i>	1	1
<i>Senecio barba-Johannis</i>	+	1
<i>Senecio roldana</i>	+	1
<i>Senecio actinella</i>	+	1
<i>Arbutus xalapensis</i>	+	1
<i>Geranium mexicanum</i>	+	1
<i>Pinaropapus roseus</i>	+	1
<i>Taraxacum officinale</i>	+	1
<i>Selloa sp.</i>	+	1
<i>Cirsium jorullense</i>	+	1
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	

Los impactos causados por esta contaminación atmosférica sobre la cubierta biótica de las vertientes son dramáticos y tienen ya evidentes consecuencias en los demás componentes del sistema. Como se aprecia en el inventario III3 y en la pirámide correspondiente, la pérdida de masa vegetal es enorme y los bosques -con pies de oyamel maduros, enfermos y, por tanto, muy sensibles a las plagas- tienen un único estrato arbóreo (carecen de arbóreo inferior y de arborescente) y registran una escasa presencia de elementos jóvenes y renuevos que en definitiva, insuficiente para asegurar la pervivencia del bosque con sus caracteres originarios. En los sotobosques el daño afecta poco al *stock* florístico, aunque los ejemplares de mayor talla, como los senecios (*Senecio sp.*) y la escobilla (*Baccharis conferta*), manifiestan decrementos de tamaño, al tiempo que otros elementos indicativos de la degradación del medio como el madroño (*Arbutus xalapensis*) e incluso plantas arvenses (*Avena fatua*) o ruderales (*Taraxacum officinale*) se expanden con mayor facilidad.

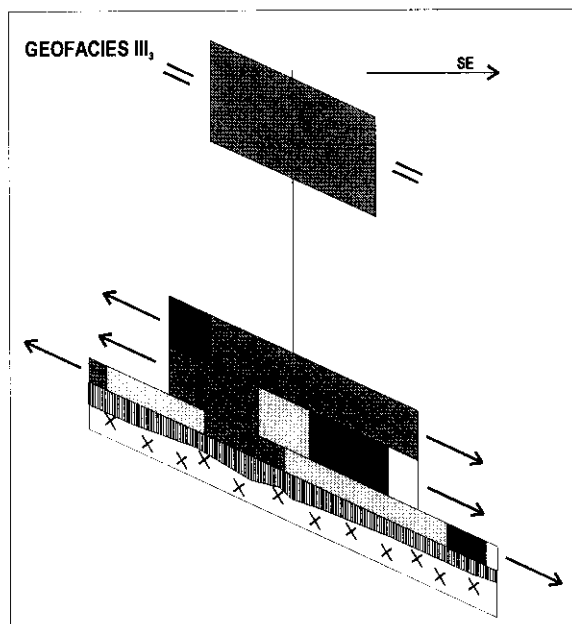
**III4. La geofacies del matorral de escobilla (*Baccharis conferta*) y
garambuyo (*Arctostaphylos arguta*) sobre andosol háplico en vertientes
cineríticas expuestas.**

El incremento de la riqueza biótica que caracteriza a las laderas medias respecto de las porciones más altas de la sierra tiene una manifestación evidente sobre los matorrales de este geosistema III, que destacan por su gran densidad, por su elevado número de especies y por la presencia de plantas que pueden alcanzar talla arborescentes. La escobilla (*Baccharis conferta*) que es uno de los elementos arbustivos mejor adaptados a los medios húmedos y fríos de las montañas se presenta como fitodominante entre una amplia variedad de plantas, de las cuales el garambuyo (*Arctostaphylos arguta*) sobresale por su talla. La presencia en algún inventario del tepozán (*Buddleja spp.*) -pionero e incluso rupícola y tolerante de medios altamente alterados- no se considera en este caso indicativa de cambios estructurales de orden natural, sino de ciertas condiciones desfavorables en la estación de muestreo. Como es común en los matorrales de montaña, existe un manto herbáceo continuo y bien diversificado que muestra una evidente similitud en la composición florística con los zacatonales de los que -según se verá- procede, incluyendo elementos variados de las rosáceas y de las gramíneas (pirámide de vegetación III.).

El área de estas geofacies de matorral se ha incrementado en las últimas décadas por efecto de las intervenciones humanas, sobre todo a partir del abandono de terrenos agrícolas. Debido a la pronta regeneración de la vegetación en estos sectores de alto potencial geocológico de la vertiente, los matorrales son espacialmente más representativos que los zacatonales, aunque la forma de su distribución es similar, ya que forman mosaicos con las áreas arboladas, definiendo cambios constantes en la fisionomía del paisaje, aunque siempre guardando cierta armonía en el conjunto.

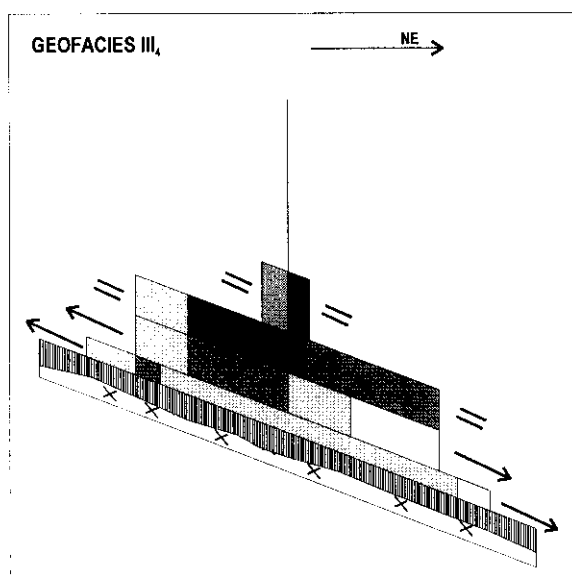
INV. NÚMERO: III.4	Matorral de escobilla (<i>Baccharis conferta</i>) y garambullo (<i>Arctostaphylos arguta</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Camino a la Presa Iturbide	
ALTITUD (msnm): 3120	PENDIENTE: 25°	EXPOSICIÓN: Solana (Sureste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera de barranco, vertiente al río Santa Ana		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Buddleja cordata</i>	+	1
<i>Arctostaphylos arguta</i>	1	1
Abundancia: +	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Baccharis conferta</i>	2	2
<i>Eupatorium pycnocephalum</i>	1	2
<i>Arctostaphylos arguta</i>	2	3
Abundancia: 3	Dinámica: Estable	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Aristida sp.</i>	2	2
<i>Baccharis conferta</i>	3	3
<i>Ribes pringlei</i>	+	1
Leguminosa	2	2
<i>Eupatorium pycnocephalum</i>	1	1
<i>Salvia hyptis</i>	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Alchemilla sp.</i>	3	5
<i>Conyza sp.</i>	1	2
<i>Cirsium pinetorum</i>	1	1
<i>Fragaria mexicana</i>	+	1
<i>Festuca sp.</i>	1	2
planta sin clasificar	+	1
<i>Thelypodium pallidum</i>	+	1
<i>Baccharis conferta</i>	+	1
<i>Gnaphalium sp.</i>	+	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	



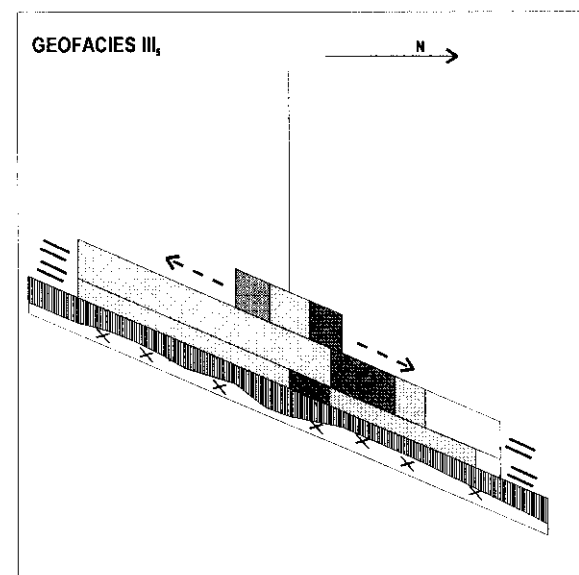
Bosque alterado de oyamel (*Abies religiosa*) y/o pinos (*Pinus spp.*) con sotobosque de senecio (*Senecio barba-Johannis*) y escobilla (*Baccharis conferta*)

- Latifoliadas de amplia distribución: *Arbutus xalapensis*
- Hierbas de amplia distribución: musgo, *Senecio actinella*, *Geranium mexicanum*
- Oyamel: *Abies religiosa*
- Latifoliadas de montaña: *Garrya laurifolia*, *Salix oxylepis*
- Arbustos húmedos: *Acaena elongata*, *Baccharis conferta*, *Senecio barba-Johannis*, *S. roldana*
- Hierbas de altura: *Alchemilla sp.*, *Cirsium jorullense*, *Gnaphalium inortatum*, *Pinaropapus roseus*
- Espontáneas ruderales: *Taraxacum officinale*
- Introducidas de cultivos: *Avena fatua*
- Otras: *Eupatorium sp.*, *Selloa sp.*
- Suelo: andosol úmbrico
- Substrato rocoso



Matorral de garambujo y escobilla (*Baccharis conferta*) y garambujo (*Arctostaphylos arguta*)

- Arbustos de amplia distribución: *Buddleja cordata*
- Hierbas de amplia distribución: *Eupatorium pycnocephalum*, *Festuca sp.*, *Fragaria mexicana* y *Salvia hyptis*
- Latifoliadas de montaña: *Arctostaphylos arguta*
- Arbustos húmedos: *Baccharis conferta* y *Ribes pringlei*
- Hierbas de altura: *Alchemilla sp.*, *Aristida sp.*, *Cirsium pinetorum*, *Conyza sp.*, *Gnaphalium sp.* y *Thelypodium pallidum*
- Otras: leguminosa
- Suelo: andosol úmbrico
- Substrato rocoso



Zacatonal de *Deschampsia pringlei* con escobilla (*Baccharis conferta*)

- Arbustos de amplia distribución: *Senecio salignus*
- Hierbas de amplia distribución: *Deschampsia pringlei*, *Eupatorium pycnocephalum*, *Fragaria mexicana*, helecho y musgo
- Arbustos húmedos: *Baccharis conferta*, *Ribes pringlei*
- Hierbas de altura: *Alchemilla sp.*, *Cirsium pinetorum*, *Penstemon gentianoides*, *Thelypodium pallidum*
- Otras: leguminosa, gramínea
- Suelo: andosol úmbrico
- Substrato rocoso

Figura 10.8. Pirámides de vegetación de las geofacies III₁, III₂ y III₃.

III. La geofacies del zacatonal de *Deschampsia pringlei* con escobilla (*Baccharis conferta*) sobre andosol háplico en vertientes cineríticas expuestas.

Los pastizales son ámbitos muy extendidos, pero de distribución difuminada, que ocupan más favorablemente los pequeños claros de bosque sobre laderas bien expuestas de morfología convexa dentro del área del geosistema III. Aunque su fisionomía no difiere mucho de las comunidades herbáceas altas de las cimas de la sierra, tienen una composición florística particular sobre todo en lo que se refiere a las especies dominantes. En el inventario y la pirámide III, se pueden apreciar la composición y la estructura de esta geofacies, consistente en un manto de talla subarborescente y más o menos continuo de zacatón de *Deschampsia pringlei*, en el que sobresalen por su talla elementos arbustivos acompañantes de las coníferas, como la escobilla (*Baccharis conferta*), la jarilla (*Senecio salignus*) y una herbácea de gran talla (*Eupatorium pycnocephalum*). Por debajo de este manto, otro herbáceo bien nutrido con compuestas, gramíneas y rosáceas se extiende amplio a manera de capa continua.

INV. NÚMERO: III	Zacatonal de <i>Deschampsia pringlei</i> con escobilla (<i>Baccharis conferta</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Camino a la Presa Iturbide	
ALTITUD (msnm): 3120	PENDIENTE: 33°	EXPOSICIÓN: Umbria (Norte)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera de barranco, vertiente al río Santa Ana		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBUSTIVO		
Baccharis conferta	+	2
Senecio salignus	+	2
Eupatorium pycnocephalum	+	2
Abundancia: 1	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Deschampsia pringlei	4	5
Leguminosa	1	2
Penstemon gentianoides	+	2
Baccharis conferta	1	1
Abundancia: 4	Dinámica: Estable	
ESTRATO HERBÁCEO		
Musgo bajo	3	5
Alchemilla sp	3	4
Cirsium pinetorum	1	2
Fragaria maxicana	+	1
Helecho bajo	+	1
Baccharis conferta	+	1
Deschampsia pringlei	1	3
Gramínea tipo tomillo	+	1
Thelipodium pallidum	+	1
Ribes pringlei	+	1
Abundancia: 4	Dinámica: Estable	

III.6. La geofacies de las superficies de cultivo sobre andosol háplico en vertientes cineríticas expuestas.

En términos generales la extensión, distribución y demás particularidades de los sectores destinadas la producción agropecuaria dentro del área del geosistema III se definen en los mismos términos que para el caso del geosistema II, de lo que se desprende que las superficies roturadas son escasas y no implican afecciones importantes en el conjunto, aunque evidentemente representan un daño sobre la cubierta edáfica de los andosoles, que son parcialmente removidos en sus horizontes superficiales al tiempo que no reciben la misma proporción de aportes orgánicos, quedando afectados en su estructura y resultando por ende más sensibles y susceptibles de ser removidos.

III.7. La geofacies de las superficies carentes de recubrimiento vegetal sobre vertientes y laderas muy alteradas en los entornos a las líneas de infraestructura y centros de recreo.

De la misma forma que ocurre en el geosistemas II, el emplazamiento de carreteras, de líneas de electricidad y de acueductos ha implicado daños directos sobre la vegetación y los suelos e indirectos en la medida de que las vías de comunicación permiten un tránsito más intenso del hombre en el interior de este sistema natural. La entrada de público paseante se incentiva en este caso debido a la fuerza de atracción de los bosques como escenarios de gran belleza escénica, resultando de esta presencia una infinidad de formas distintas de afección con la consecuente aparición de superficies desnudas. El área más afectada es -como ya se ha dicho antes- el valle de del río La Magdalena, sobre todo en el Parque Nacional de los Dínamos, donde desafortunadamente este tipo de afecciones se encuentran difuminadas en los bosques siendo imposible estimar cuantitativamente las superficies afectadas; pero a manera de estimación cualitativa se puede afirmar que toda la porción media del valle está seriamente perturbada por esta causa.

10.2.3.1. La serie del abetal de las laderas medias de Catedral, Las Cruces y San Miguel.

Como se ha venido reiterando, el geosistema III abarca sectores particularmente dinámicos e inestables de la vertiente pero que mantienen, como los correspondientes al geosistema II -con el que comparte el piso montano de vegetación-, una línea evolutiva predominantemente progresiva que responde al bajo grado de las intervenciones antrópicas en relación con alto potencial natural. Todo parece indicar que inicialmente el conjunto de estas laderas pudo constituir un entramado de bosques puros de oyamel (geofacies III₁) y mixtos de oyamel con pinos (geofacies III₂), de los cuales los primeros constituyen el estado clímax (fig. 10.9).

De la misma forma que ocurre en el sistema anterior, la sustitución primaria de los bosques naturales -que en este caso afecta a ambas geofacies forestales- se realiza de forma violenta por medio de acciones antrópicas generalmente directas aunque poco frecuentes, como los desmontes y la remoción de suelos para la apertura de campos de cultivo (geofacies III₆) o el movimiento de tierra para el emplazamiento de infraestructuras (geofacies III₇). A partir de esta situación de máximo deterioro, y siempre tras el cese definitivo o temporal de las presiones antrópicas directas, acontece una pronta recuperación biótica de los terrenos baldíos y que -según se deduce del análisis realizado- se inicia con la colonización del suelo, comúnmente un andosol empardecido de tipo háplico, por un zacatal de *Deschampsia pringlei* (geofacies III₅) que ya presenta la valiosa presencia de fitoindicadores de la regeneración natural y de gran afinidad con los bosques originales como es la escobilla (*Baccharis conferta*). En una etapa posterior, este mismo arbusto se expande y constituye el elemento básico de una formación de matorral, similar a los de escobilla de las laderas altas aunque con mayor riqueza florística y con individuos arborescentes dispersos de garambuyo (geofacies III₄).

La regeneración de los bosques puros de oyamel a partir de las formaciones de matorral tiene una etapa intermedia de bosques mixtos de oyamel y pinos "oportunistas" (geofacies III₂) que cumplen el mismo rol de los bosques mixtos del geosistema II, es decir la evolución de un dosel resistente de pinos que en la etapa final de la serie es por competencia entre estas especies dominado por el

oyamel (geofacies III₁), que en interior de ciertos nichos particularmente frescos y húmedos y siempre bajo el dosel de los pinos prospera en comunidades densas y de amplia cobertura arbórea.

No obstante la progresiva evolución que caracteriza la serie, el valor de las intervenciones humanas desde dentro y fuera del sistema se dejan sentir cada vez con mayor incidencia y se manifiestan en procesos degradativos de distinta génesis que afectan las distintas partes del ciclo. En algunos enclaves las afecciones relativas a la contaminación del aire, el agua y el suelo se traducen en una clara tendencia a la degradación de los bosques y a la expansión de las formaciones menores. Aparece en esta línea degradativa un estadio intermedio de fuerte perturbación, con abetales puros y bosques mixtos de oyamel y pinos que acusan seria alteración (geofacies III₃). Muy significativo es el caso del valle La Magdalena, donde el impacto de factores perturbadores como pueden ser el arribo y estancamiento de masas contaminadas de aire desde la capital, así como el la destrucción física del suelo y de la vegetación por los visitantes del bosque permite una mayor expansión de las facies de fuerte perturbación que ponen de manifiesto la fragilidad del sistema ante las intervenciones antrópicas.

10.2.4. El geosistema IV, frío y muy húmedo de las cumbres montañosas de Las Cruces y laderas bajas de montaña de Catedral y San Miguel, con bosques mixtos de aile, oyamel, pinos y encinos, y aprovechamiento pecuario-silvícola.

La característica que mejor define a este geosistema es la complejidad interna, que se deriva del abanico de posibilidades que caben dentro de su marco geoecológico y se basa en el margen de variación de cada uno de los componentes básicos -*potencial natural, explotación vegetal y aprovechamientos antrópicos*- considerados por separado. En lo tocante a la base litológica y geomorfológica se dan apreciables diferencias entre el macizo Las Cruces, donde este geosistema se emplaza en el área de cumbres -sobre una plataforma poco extensa y elevada, abrupta en sus bordes y que está coronada por un complejo de estructuras volcánicas y litología de lavas intermedias- y los macizos de Catedral y San Miguel, donde ocupa las laderas que circundan a los principales centros de emisión volcánica -que se distinguen en su substrato por

la sobreposición de domos volcánicos, flujos lávicos y de piroclastos que les confieren gran extensión y volumen-.

Estas áreas en conjunto quedan inmersas en la franja de clima frío y muy lluvioso característico de las laderas montañosas, cuyos parámetros básicos son una temperatura media anual cercana a 13°, unas medias del verano por encima de 10° y unas precipitaciones de 1200 a más de 1300 mm anuales y concentrados en el verano. Estos importantes aportes pluviométricos junto con el nivel termométrico aún relativamente bajo propician unas buenas condiciones hídricas -con más de 600 mm anuales de esorrentía teórica-, manifestando el característico equilibrio montano entre el número de meses húmedos y secos. Además, se registran otras entradas de agua que provienen de los flujos epidérmicos, superficiales y subsuperficiales de las cimas y altas vertientes, constituyéndose asimismo como áreas de importante recarga freática.

La amplia la gama de relieves concretos por los que se extiende este geosistema IV incluye formas de suave declive, comúnmente más estables o poco activas (como es el caso de los fondos de algunos valles y los domos y rellenos piroclásticos que coronan las cumbres en Las Cruces) y también enclaves notablemente activos correspondientes por lo general las laderas empinadas de algunos conos y domos volcánicos y el interior de algunos valles (como el del río Cuautitlán, donde la disección fluvial del terreno supera los 10 km/km²). Las cabeceras de los principales valles secundarios y barrancos han sido modeladas sobre un roquedo variado en el que se incluyen capas de piroclastos muy deleznales que facilitan el modelado de surcos amplios y con frecuentes niveles escarpados (que sin duda son resultado de un control tectónico en el proceso de encajamiento de la red de cursos de agua).

A pesar de la indicada diversidad en la configuración del relieve, el potencial abiótico de estas cumbres y vertientes es muy homogéneo en todo el conjunto. Así, la edafogénesis a partir de los mantos cineríticos que recubren a los domos, conos y acumulaciones lávicas o de piroclastos, ha permitido la evolución de suelos específicos del tipo de los andosoles úmbricos, que cuando pierden su cubierta vegetal originaria debido a la deforestación manifiestan una considerable tendencia a convertirse a la variante háplica. Además, la dinámica geomorfológica más o menos activa afecta al contenido edáfico, sobre todo en

las laderas escarpadas, donde cualquier desequilibrio morfodinámico conduce al sistemático barrido de los protosuelos y recubrimientos cineríticos con la irremediable aparición de la fase lítica de los andosoles, o bien de leptosoles líticos.

Otro factor que diferencia globalmente este geosistema y lo enriquece se refiere a su emplazamiento dentro del “piso de transición”, en el que coinciden y se solapan las áreas de dominio de las latifoliadas y de las pináceas; más concretamente se ubica en la parte superior del piso, caracterizada por la presencia del oyamel que conforma comunidades mixtas con pinos y encinos. La entrada del elemento latifoliado -constituido por encinos principalmente- confiere al *stock* florístico amplias posibilidades de combinación y un notable biodiversidad. Pero quizá el aspecto más particular del sistema es el importante papel de los ailes (*Alnus firmifolia*), que en el caso de algunos enclaves bien aireados de las cumbres de Las Cruces, llegan a conformar formaciones vegetales monoespecíficas.

Por lo que se refiere a los aprovechamientos por parte del hombre, se centran en las actividades agropecuarias -con producción permanente basada en la rotación de cultivos anuales- y, de forma secundaria, en la explotación silvícola legal e ilegal, además de en una escasa ocupación del suelo con fines habitacionales. La población se concentra en pequeños pueblos, como Transfiguración, Santiago Tlazala y Gral. Ignacio Allende, en los cuales, debido a la relativa lejanía que aún tienen respecto de la Ciudad de México, predomina un estilo de vida rural, íntimamente ligado a las actividades del campo. Pero la presencia humana se manifiesta también con una serie de aprovechamientos accesorios, entre los que destacan la extracción de recursos hídricos (directamente de los cursos superficiales y de las de fuentes naturales) y el emplazamiento de la red de vías de comunicación y de cableado eléctrico, acciones todas ellas que incentivan y perpetúan otro tipo de actividades que atentan contra la estabilidad de los entornos naturales.

Si bien es cierto que la participación del hombre en el sistema natural tiende a homogeneizar el entramado paisajístico, el estilo de ocupación rural que aún premia en este sistema no parece mermar la diversidad ni la dinámica paisajística interna, sino más bien acelera los cambios en la dinámica sucesional

que de forma natural ya se daban, al tiempo que introduce nuevos procesos vinculados con la aparición de nuevas geofacies antropógenas, todo lo cual lleva a incrementar la diferenciación interna de un geosistema ya de por sí complejo, reconociéndose en él 12 geofacies que traducen otros tantos estados distintos, lo que le coloca como el más diversificado de toda la vertiente.

IV1. La geofacies del bosque de oyamel (*Abies religiosa*) con sotobosque de senecios (*S. barba-Johannis* y *S. roldana*) y cuachichie (*Garrya laurifolia*) sobre andosol úmbrico en cimas, vertientes y laderas de valle.

Se corresponde esta geofacies con bosquetes de abeto dispersos tanto en cimas como en laderas de valles y barrancos que suman en la actualidad una extensión poco representativa y vienen a ser los últimos restos de una facies paisajística ampliamente extendida antes de ser intensamente afectada por la tala. Dichos bosquetes acogidos en terrenos de difícil acceso y poco protegidos manifiestan, tras la aparición de gran porte y buena salud, importantes desequilibrios que se traducen en una práctica imposibilidad de regeneración natural de los componentes arbóreos que los caracterizan.

Su cubierta vegetal está compuesta por un estrato arbóreo superior formado por oyameles de gran porte (20-25 m), que destaca directamente sobre un amplio y densamente enriquecido sotobosque. A diferencia de los abetales correspondientes a otros sistemas, el citado estrato superior alcanza una cobertura próxima al 100%, lo que reduce la iluminación interior y dificulta el desarrollo de los renuevos y los pies jóvenes del propio oyamel, favoreciendo por el contrario a las especies adaptadas a ambientes umbrosos. Como se aprecia en el inventario y en la "pirámide de vegetación" correspondientes a esta geofacies, no existe estrato arbóreo inferior y la humedad y frescura del interior de los bosques son aprovechados por plantas de talla arborescente, en particular por el cuauchichie (*Garrya laurifolia*), que comparte el sotobosque con los también senecios (*S. barba-Johannis* y *S. roldana*), además de una amplia variedad de especies arbustivas y herbáceas de amplia distribución. La presencia del tejocote (*Crataegus mexicana*) es también significativa, pudiendo interpretarse como indicador de la proximidad de la rampa de piedemonte.

GEOFACIES: IV ₁	Bosque de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) con sotobosque de senecios (<i>Senecio barba-Johannis</i> y <i>S. roldana</i>) y cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Huixquilucan	
ALTITUD (msnm): 3030	PENDIENTE: 20°	EXPOSICIÓN: Solana (Sureste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera inferior del valle del río Aramitza		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas.		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Veredas		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Abies religiosa</i>	5	3
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Garrya laurifolia</i>	2	1
<i>Senecio barba-Johannis</i>	+	1
<i>Senecio roldana</i>	+	1
<i>Crataegus mexicana</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Senecio roldana</i>	3	3
<i>Senecio barba-Johannis</i>	2	3
<i>Garrya laurifolia</i>	1	2
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Garrya laurifolia</i>	1	2
<i>Senecio roldana</i>	1	2
<i>Stevia salicifolia</i>	+	1
<i>Eupatorium sp.</i>	+	1
Leguminosa	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Planta sin clasificar	2	2
<i>Garrya laurifolia</i>	1	2
<i>Senecio roldana</i>	1	1
<i>Pteridium aquilinum</i>	+	2
Musgo	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	

IV₂. La geofacies del bosque mixto de oyamel (*Abies religiosa*) y encinos (*Quercus spp.*) con sotobosque de cuachichie (*Garrya laurifolia*), senecios (*S. barba-Johannis* y *S. roldana*) y eupatorium (*Eupatorium sp.*) sobre andosol úmbrico en cimas, vertientes y laderas de valle.

El aspecto más significativo y diferenciador de esta geofacies es la presencia de encinos de gran talla (*Quercus laurina*, sobre todo) que en codominancia con el oyamel forman un alto dosel arbóreo superior. En las pirámides IV₂ y IV_{2.1} se observa como la notable falta de luz debida a la gran amplitud del citado dosel merma el desarrollo vegetal en los niveles inferiores, que sólo se da en los pequeños espacios iluminados a ras del suelo que por lo mismo suelen formar

escuetos recubrimientos con dominancia de menos del 10%, pero que no obstante son aprovechados por una rica variedad de plantas (hasta 8 por estrato). Además del *Quercus laurina*, la mayor parte del listado florístico se compone de una rica variedad de otras fitoindicadoras de ambientes frescos y húmedos como el cuachichie (*Garrya laurifolia*), el senecio (*Senecio roldana*) y el eupatorium (*Eupatorium sp.*) y el *Malvastrum lacteum*, además de una gran variedad de plantas herbáceas escasamente representadas.

Estos bosques mixtos de oyamel-encino son la geofacies más extendida y representativa del geosistema IV. Pese a ello su distribución es relativamente discontinua, encontrándose dispersa en intrincados mosaicos compuestos también por otras configuraciones paisajísticas como resultado en gran parte de las intervenciones humanas.

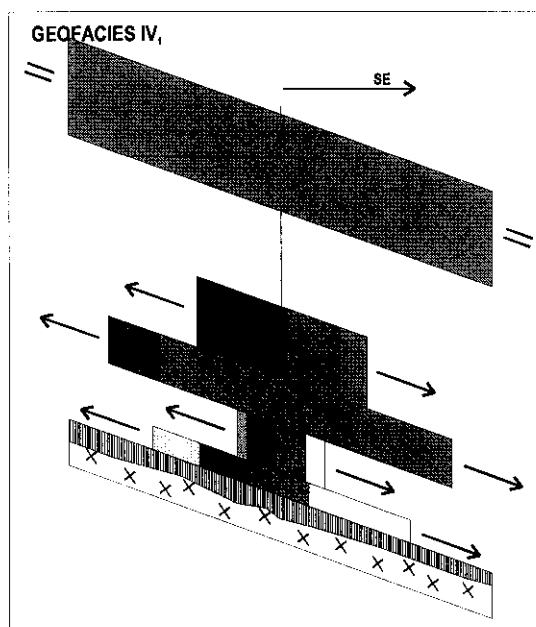
GEOFACIES: IV ₂	Bosque mixto de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>), senecios (<i>S. barba-Johannis</i> y <i>S. roldana</i>) y eupatorium (<i>Eupatorium sp.</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Santa María Mazatlá	
ALTITUD (msnm): 2910	PENDIENTE: 22°	EXPOSICIÓN: Umbría (Noroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Divisoria de barrancos en la ladera baja del cerro Texcané		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Veredas/Construcciones dispersas/Remoción del manto superficial		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
Quercus rugosa	3	2
Quercus laurina	4	2
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBORESCENTE		
Garrya laurifolia	1	2
Abies religiosa	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Quercus laurina	1	1
Eupatorium glabratum	+	2
Quercus rugosa	+	1
Abies religiosa	+	1
Prunus capuli	1	2
Arbutus xalapensis	+	1
Senecio roldana	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Quercus rugosa	+	2
Senecio roldana	+	1
Leguminosa	+	1
Quercus laurina	1	2
Lobelia laxiflora	+	2
Antirrhinum majus	1	2
Salvia fulgens	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Avena fatua</i>	+	2
Musgo	+	2
<i>Pteridium aquilinum</i>	+	2
<i>Arbutus xalapensis</i>	+	1
<i>Acaena elongata</i>	+	1
<i>Eupatorium sp.</i>	+	1
<i>Sibthorpia pichinchensis</i>	+	1
<i>Eupatorium sp. 2</i>	+	1
<i>Galium praetermissum</i>	+	1
Leguminosa	+	1
<i>Quercus laurina</i>	1	2
Abundancia: 1	Dinámica: Poco progresiva	

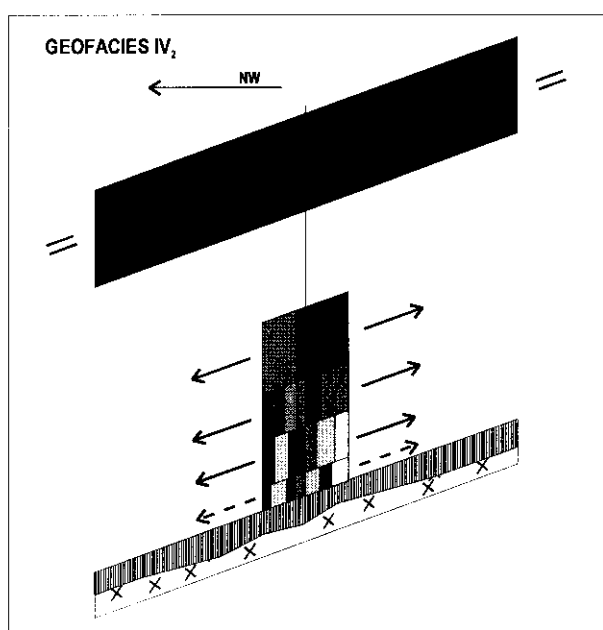
GEOFACIES: IV _{2.1}		Bosque mixto de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>), senecios (<i>Senecio barba-Johannis</i> y <i>S. roldana</i>) y eupatorium (<i>Eupatorium sp.</i>)	
FECHA: Febrero/97		LUGAR: "Cerro" Las Cruces	
ALTITUD (msnm): 3077		PENDIENTE: 10°	EXPOSICIÓN: Umbría (Norte)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera del cerro			
SUELO: Andosol úmbrico			
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas			
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian			

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
Abies religiosa	4	2
Quercus laurina	2	1
Abundancia: 5	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
Senecio roldana	2	2
Quercus laurina	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Senecio roldana	3	3
Eupatorium sp.	3	3
Carrizo	2	2
Garrya laurifolia	1	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Eupatorium sp.	3	2
Senecio roldana	2	2
Fuchsia sp.	1	2
Salvia elegans	+	1
Leguminosa	+	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Musgo	2	3
Acaena elongata	2	2
Senecio roldana	1	1
Fuchsia sp.	1	1
Baccharis glutinosa	1	1
Eupatorium sp.	1	1
Carrizo	+	1
Salvia elegans	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	



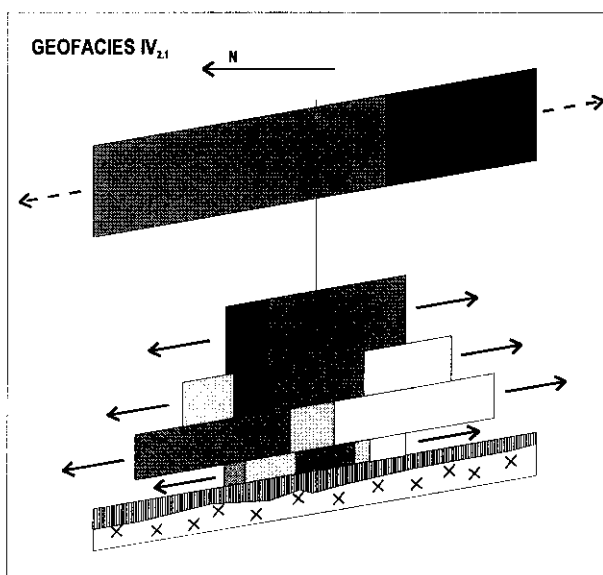
Bosque de oyamel (*Abies religiosa*) con sotobosque de senecios (*Senecio spp.*) y cuachichie (*Garrya laurifolia*)

- Arbustos de amplia distribución: *Stevia salicifolia*
- Hierbas de amplia distribución: helecho, musgo
- Oyamel: *Abies religiosa*
- Latifoliadas de montaña: *Garrya laurifolia*
- Arbustos húmedos: *Senecio barba-Johannis*, *S. roldana*
- Latifoliadas termófilas: *Crataegus mexicana*
- Otras: *Eupatorium sp.*, Leguminosa, planta sin clasificar
- Suelo: andosol úmbrico
- Substrato rocoso



Bosque mixto de oyamel (*Abies religiosa*) y encinos (*Quercus spp.*) con sotobosque de cuachichie (*Garrya laurifolia*), senecios (*Senecio barba-Johannis* y *S. roldana*) y eupatorium (*Eupatorium sp.*)

- Encinos de amplia distribución: *Quercus rugosa*
- Latifoliadas de amplia distribución: *Arbutus xalapensis*
- Arbustos de amplia distribución: *Eupatorium glabratum*
- Hierbas de amplia distribución: *Lobelia laxiflora*, musgo, *Pteridium aquilinum*
- Oyamel: *Abies religiosa*
- Encinos de montaña: *Quercus laurina*
- Latifoliadas de montaña: *Garrya laurifolia*
- Arbustos húmedos: *Acaena elongata*, *Senecio roldana*
- Hierbas de altura: *Antirrhinum majus*, *Galium praetermissum*, *Sibthorpia pichinchensis*
- Latifoliadas termófilas: *Prunus capuli*
- Introducidas de cultivos: *Avena fatua*
- Otras: *Eupatorium sp.*, leguminosa
- Suelo: Andosol úmbrico
- Substrato rocoso



Bosque mixto de oyamel (*Abies religiosa*) y encinos (*Quercus spp.*) con sotobosque de cuachichie (*Garrya laurifolia*), senecios (*Senecio barba-Johannis* y *S. roldana*) y eupatorium (*Eupatorium sp.*)

- Arbustos de amplia distribución: *Baccharis glutinosa*
- Hierbas de amplia distribución: junco, musgo
- Oyamel: *Abies religiosa*
- Encinos de montaña: *Quercus laurina*
- Latifoliadas de montaña: *Garrya laurifolia*
- Arbustos húmedos: *Acaena elongata*, *Fuchsia sp.*, *Senecio roldana*
- Hierbas de altura: *Salvia elegans*
- Otras: *Eupatorium sp.*, Leguminosa
- Suelo: andosol úmbrico
- Substrato rocoso

Figura 10.10. Pirámides de vegetación de las geofacies IV₁, IV₂ y IV_{2,1}

IV₃. La geofacies del bosque mixto de pinos (*Pinus spp.*) y encinos (*Quercus spp.*) y aile (*Alnus firmifolia*) sobre andosol úmbrico en cimas, vertientes y laderas de valle.

La mezcla de pinos, encinos y aile constituye un tipo de recubrimiento vegetal poco frecuente, que se encuentra en pequeños enclaves dispersos en áreas de cumbre o ladera y que además muestran distintas fisionomías concretas dependiendo del peso de cada uno de los tres géneros según las variaciones de topografía, orientación y grado de humedad. El elemento fundamental es el pino, que se combina con el encino (pirámide IV_{3.1}), con el aile (pirámide IV₃) o con ambos (pirámide IV_{3.2}) y en ningún caso se observan comunidades que mezclen como codominantes únicamente a las dos latifoliadas. Se configuran así los paisajes forestales de mayor biodiversidad en cuanto a especies arbóreas se refiere, reconociéndose en ellos tres especies de pino (*P. Montezumae*, *P. Leiophylla* y *P. teocote*), cinco de encino (*Quercus mexicana*, *Q. laurina*, *Q. rugosa*, *Q. rugulosa* y *Q. Bourgaei*) y una de aile (*Alnus firmifolia*).

GEOFACIES: IV ₃	Bosque mixto de pinos (<i>Pinus spp.</i>), encinos (<i>Quercus spp.</i>) y aile (<i>Alnus firmifolia</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: "Cerro" Las Cruces	
ALTITUD (msnm): 3140	PENDIENTE: 22°	EXPOSICIÓN: Solana (Sureste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera del cerro		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos de ceniza sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Pinus Montezumae</i>	3	1
<i>Alnus firmifolia</i>	2	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Pinus Montezumae</i>	1	1
<i>Buddleja lanceolata</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Senecio roldana</i>	2	3
<i>Agave ferox</i>	1	2
<i>Pinus Montezumae</i>	+	1
<i>Quercus Bourgaei</i>	+	1
<i>Echeveria glauca</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Agave ferox</i>	2	2
<i>Muhlenbergia macroura</i>	1	2
<i>Festuca sp.</i>	1	2
<i>Eupatorium glabratum</i>	+	2
<i>Quercus Bourgaei</i>	+	1
<i>Quercus laurina</i>	+	1
<i>Arbutus xalapensis</i>	+	1

Rubus sp.	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Muhlenbergia macroura	3	3
Cirsium pinetorum	3	3
Acaena elongata	2	2
Gramínea tipo stipa	1	2
Castilleja tenuiflora	+	2
Pinaropapus roseus	+	1
Senecio roldana	+	1
Geranium mexicanum	+	1
Quercus Bourgaei	+	1
Penstemon campanulatus	+	1
Baccharis conferta	+	1
Agave ferox	+	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	

GEOFACIES: IV _{3.1}		Bosque mixto de pinos (<i>Pinus spp.</i>) y encinos (<i>Quercus spp.</i>) y aile (<i>Alnus firmifolia</i>)	
FECHA: Febrero/97		LUGAR: "Cerro" Las Cruces	
ALTITUD (msnm): 3040		PENDIENTE: 30°	EXPOSICIÓN: Solana (Sur)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera de volcán			
SUELO: Andosol úmbrico			
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas			
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Veredas			
ESPECIES POR ESTRATO		ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR			
<i>Pinus Montezumae</i>		3	1
<i>Quercus mexicana</i>		3	1
<i>Quercus rugosa</i>		3	1
<i>Pinus Leiophylla</i>		2	1
Abundancia: 5		Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR			
<i>Pinus Leiophylla</i>		2	1
<i>Quercus rugulosa</i>		2	1
Abundancia: 3		Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO			
Gramínea tipo <i>Stipa</i>		4	4
Carrizo		2	3
<i>Brickellia pendula</i>		1	2
<i>Penstemon gentianoides</i>		+	1
Abundancia: 4		Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO			
<i>Alchemilla sp.</i>		3	3
<i>Festuca amplissima</i>		1	2
<i>Cirsium jorullense</i>		1	1
<i>Quercus mexicana</i>		+	1
<i>Selloa sp.</i>		+	1
<i>Eupatorium glabratum</i>		+	1
<i>Arbutus xalapensis</i>		+	1
<i>Eringium columnare</i>		+	1
<i>Alchemilla procumbens</i>		+	1
Abundancia: 3		Dinámica: Progresiva	

GEOFACIES: IV _{3.2}	Bosque mixto de pinos (<i>Pinus spp.</i>), encinos (<i>Quercus spp.</i>) y alile (<i>Alnus firmifolia</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Huixquilucan	
ALTITUD (msnm): 2970	PENDIENTE: 30°	EXPOSICIÓN: Solana (Este)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera media del valle del río Aramitza		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Veredas		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Pinus teocote</i>	3	1
Abundancia: 3	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Quercus laurina</i>	1	1
<i>Quercus rugosa</i>	1	1
<i>Alnus firmifolia</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Quercus rugosa</i>	3	2
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Quercus rugosa</i>	1	2
<i>Senecio barba-Johannis</i>	1	2
<i>Quercus laurina</i>	+	1
<i>Arbutus xalapensis</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Muhlenbergia macroura</i>	4	4
<i>Eupatorium sp.</i>	2	2
<i>Quercus rugosa</i>	1	1
<i>Salvia elegans</i>	+	1
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Alchemilla sp.</i>	1	2
<i>Salvia elegans</i>	1	1
<i>Castilleja schaffneri</i>	1	1
<i>Eupatorium sp.</i>	+	1
<i>Penstemon campanulatus</i>	+	1
Gramínea	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	

La estructura de la formación vegetal es muy compleja a la vez que variada, aunque en términos generales es de gran porte y cuenta con dos niveles arbóreos en los que entran representantes de los tres géneros principales y con las latifoliadas siempre a resguardo entre o por debajo de la techumbre de los pinos. Los sotobosques forman un manto amplio compuesto de variadas gramíneas, leguminosas y compuestas de afinidad montañosa, destacando por su dominio el tepozán (*Buddleja lanceolata*), los senecios (*Senecio sp.*), la pegarropa (*Acaena elongata*) y el cardo (*Cirsium sp.*). Aunque el origen de este tipo de recubrimiento de asocia a incendios y de que la sentida presencia del madroño (*Arbutus xalapensis*) en los estratos bajos delata una degradación ambiental y decremento del potencial ecológico, son comunidades que se muestran

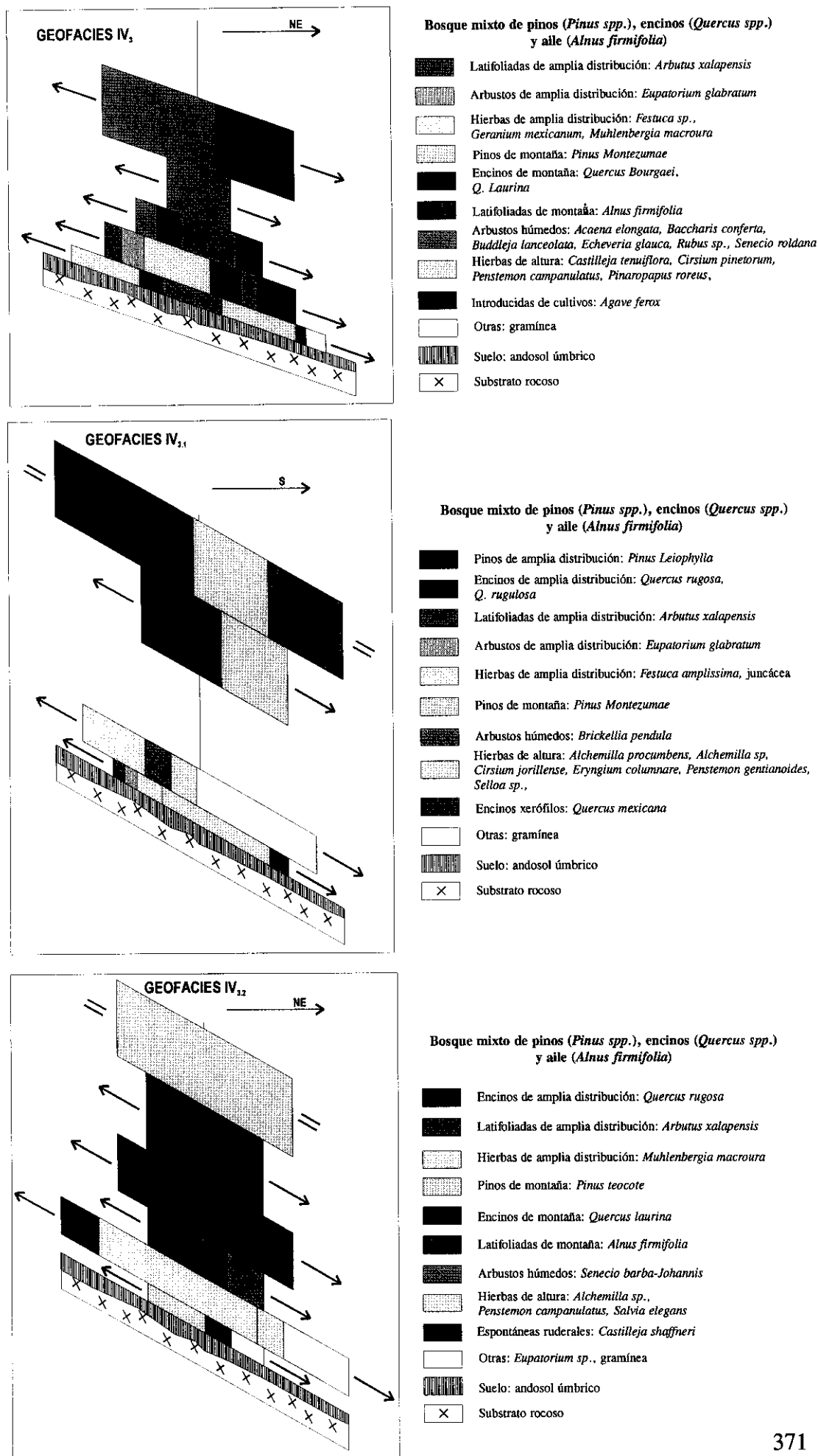


Figura 10.11. Pirámides de vegetación de las geofacies IV₃, IV_{3.1} y IV_{3.2}

saludables y en evolución progresiva, acordes con un medio donde las escorrentías están limitadas por la alta capacidad de retención de humedad de los suelos cineríticos, como lo confirma una gran densidad de zacatones amacollados (*Muhlenbergia macroura*) dispersos en las laderas.

IV4. La geofacies del bosque de aile (*Alnus firmifolia*) sobre andosol úmbrico en cimas recubiertas de cenizas.

Las comunidades de aile (*Alnus firmifolia*) caracterizan la vegetación de algunos pequeños y poco representativos enclaves sobre las laderas de domos y conos cineríticos culminantes en Las Cruces, dentro del municipio de Huixquilucan. Se trata de pequeños manchones inmersos en un ambiente abierto y bien aireado que corresponde más que nada al dominio de los abetales, pero donde no obstante las "olmeras" definen comunidades de buen porte, sobre andosoles úmbricos y substratos cineríticos de alta capacidad de absorción de humedad que merman los efectos de la arroyada, que solo actúa de forma muy superficial.

En "pirámide de vegetación" correspondiente al inventario IV₄ se observa la compleja estructura de esta formación vegetal, en la que no obstante no se aprecia una importante variedad biótica. Tiene un solo estrato arbóreo, muy amplio y monoespecífico de ailes, por debajo del cual se extiende un manto arborescente y arbustivo, más bien abierto en el que los ailes comparten dominio con otras especies también de preferencias montañosas, como el tepozán (*Buddleja lanceolata*), el cuachichie (*Garrya laurifolia*), el cardo (*Cirsium jorullense*) y la *Gaultheria acuminata*. En el estrato herbáceo, más bien abierto y de escasa riqueza biótica, un importante predominio de plantas efímeras continúan la línea de afinidad fría o fresca y muy húmeda que predomina en el listado florístico.

GEOFACIES: IV ₄	Bosque de aile (<i>Alnus firmifolia</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Sta. Cruz Ayotusco	
ALTITUD (msnm): 3120	PENDIENTE: 10°	EXPOSICIÓN: Umbría (Noroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera alta de valle intermontano		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Aclarados para pastoreo/Caminos		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Alnus firmifolia</i>	4	3
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Buddleja lanceolata</i>	1	2
<i>Alnus firmifolia</i>	1	1
<i>Gaultheria acuminata</i>	1	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Garrya laurifolia</i>	3	3
<i>Gaultheria acuminata</i>	2	2
<i>Eupatorium glabratum</i>	2	2
<i>Senecio roldana</i>	1	2
<i>Buddleja lanceolata</i>	+	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Garrya laurifolia</i>	1	2
<i>Acaena elongata</i>	1	2
<i>Agave ferox</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Garrya laurifolia</i> 1	1	1
<i>Cirsium jorullensis</i>	1	1
<i>Acaena elongata</i>	+	1
<i>Geranium mexicanum</i>	+	1
Gramínea tipo <i>Stipa</i>	+	1
Leguminosa	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

IV₅. La geofacies del bosque de encinos (*Quercus spp.*) con sotobosque de senecio (*S. barba-Johannis*) sobre andosol úmbrico en vertientes y laderas de valle.

Como se ha venido reiterando en la presentación de las anteriores geofacies, las facies de bosque de este geosistema se distribuyen bajo un patrón muy abierto y matizado en el que abetales, formaciones mixtas de coníferas y encinos y encinares se entremezclan en apretados mosaicos. No obstante, se aprecia en estos últimos la tendencia a concentrarse en tramos de ladera empinados ubicados en las partes de menor altitud que enlazan ya con la rampa de piedemonte. En la pirámide de vegetación correspondiente al inventario IV₅ destaca el alto porte y denso dosel de esta formación, dominada en su florística por dos variedades de encino de montaña -el encino laurelillo (*Quercus laurina*)

y *Q. Bourgaei*- y, en segundo término, por *Q. conglomerata*, mejor adaptado a los ambientes frescos de la parte alta de la rampa. Por debajo de las copas de éstos no se dan otros estratos arbóreos y el sotobosque, más bien bajo y poco denso, cuenta no obstante con una extensa lista floral, en la que dominan fitoindicadores alta humedad y fresca como el senecio (*S. barba-Johannis* y *S. roldana*) y la *Stevia salicifolia*.

GEOFACIES: IVs	Bosque de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de senecio (<i>S. barba-Johannis</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Huixquilucan	
ALTITUD (msnm): 2914	PENDIENTE: 25°	EXPOSICIÓN: Solana (Este)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera media del valle del río Aramitza		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Veredas		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Quercus Bourgaei</i>	3	2
<i>Quercus laurina</i>	3	2
<i>Quercus conglomerata</i>	1	2
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Senecio barba-Johannis</i>	3	3
<i>Arbutus xalapensis</i>	+	2
<i>Senecio roldana</i>	+	1
<i>Eupatorium sp.</i>	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Carrizo	3	4
<i>Senecio barba-Johannis</i>	1	2
<i>Senecio roldana</i>	+	1
<i>Salvia elegans</i>	+	1
<i>Stevia salicifolia</i>	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Senecio barba-Johannis</i>	1	1
<i>Stevia salicifolia</i>	1	1
<i>Sibthorpia pichinchensis</i>	+	3
Musgo	+	2
Carrizo	+	1
<i>Salvia elegans</i>	+	1
Leguminosa	+	1
<i>Arracacia atropurpurea</i>	+	1
<i>Lamourouxia multifida</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	

Si bien el origen de esta geofacies se asocia a incendios o fuertes perturbaciones que causaron en el pasado la destrucción de una vegetación original más mesófila, se presenta hoy, en definitiva, como una comunidad estable y muy poco afectada por la arroyada epidérmica, de tal forma que la cubierta vegetal procura una efectiva protección a los suelos cineríticos que lo soportan. Y, pese

a que los encinares puros no corresponden con la vegetación clímax, en ellos se encuentran algunas de las comunidades definidas por este género mejor conservados que aún perviven en la sierra.

IV₆. La geofacies del matorral húmedo de jarilla (*Senecio salignus*), escobilla (*Baccharis conferta*) y eupatorium (*Eupatorium sp.*) sobre andosol háplico o leptosol lítico en cimas, vertientes y laderas de valle.

Estas geofacies de matorral se encuentran ampliamente representadas y en creciente expansión dentro del área del geosistema IV, hallándose, sin un patrón de distribución específico, dispersos en pequeños claros de bosque o inmersos en los terrenos agrícolas. Además, dado que son formaciones secundarias, se encuentran con frecuencia en los entornos de los pueblos y áreas abandonadas, así como en los bordes de caminos y veredas. Coincidiendo con otros matorrales (pertenecientes a los geosistemas II y III) que tienen a las formaciones con oyamel como referencia climática, los reconocidos e inventariados en el presente geosistema presentan variaciones estructurales y de contenido florístico que en una primera impresión llevan a integrarlos en distintas geofacies; sin embargo, tras un análisis más detallado de los patrones de distribución y de las estrechas relaciones espaciales que sostienen con las formaciones de bosque, se concluye que corresponden a distintos variantes locales (o geotopos) de una misma etapa serial.

En la pirámide correspondiente al inventario IV₆ se expone una representación “tipo” de estos matorrales. Consiste en un denso manto arbustivo de escobilla, senecio y eupatorium, por debajo del cual crecen de forma más rara una decena de plantas herbáceas propias de ambientes húmedos y frescos de montaña o de amplia distribución y entre las que destacan pastos importantes en la dinámica sucesional de los abetales como la *Potentilla candicans* y la *Muhlenbergia macroura*. En la pirámide IV_{6.1}, por su parte, se observa una variante en la que la escobilla (*Baccharis conferta*) se convierte en el elemento fitodominante de mayor talla; se extiende esta planta en un dosel no muy denso que da pie a una mayor expansión del estrato rasante, constituido en lo fundamental por un listado de plantas semejante al del caso anterior. Sea cual fuere la configuración vegetal de estos matorrales, conforman comunidades progresivas en sectores de

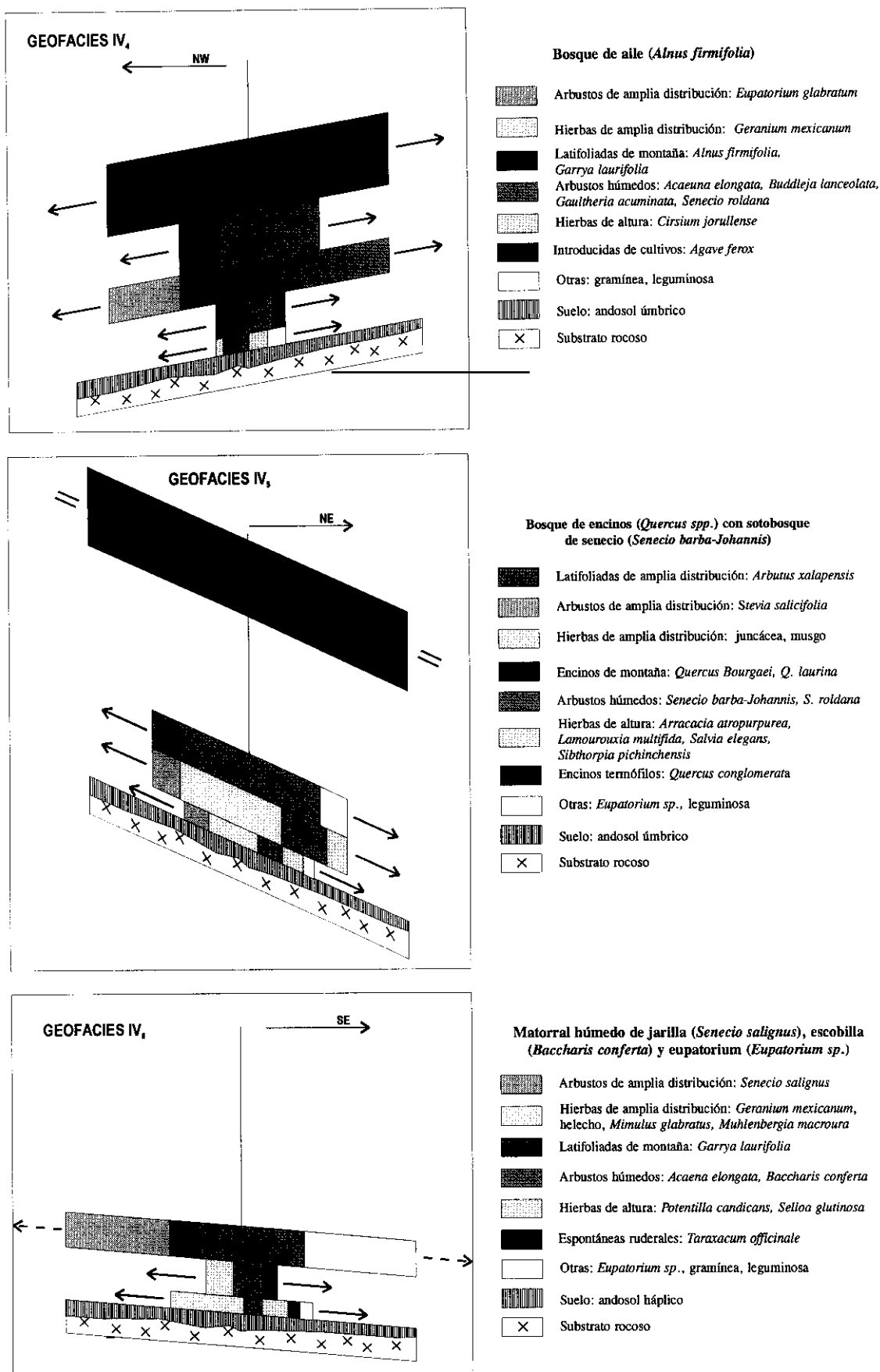


Figura 10.12. Pirámides de vegetación de las geofacies IV₄, IV₅ y IV₆

ladera aparentemente estables, aunque evidentemente poco protegidos y sujetos a reptaciones del suelo y a fenómenos de arroyada que son intensos durante el estiaje.

GEOFACIES: IV ₆	Matorral húmedo de jarilla (<i>Senecio salignus</i>), escobilla (<i>Baccharis conferta</i>) y eupatorium (<i>Eupatorium sp.</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: "Cerro" Las Cruces	
ALTITUD (msnm): 3083	PENDIENTE: 6°	EXPOSICIÓN: Solana (Sureste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Llano de relleno aluvial		
SUELO: Andosol háplico		
LITOLOGÍA: Piroclastos re TRABAJADOS por erosión		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Construcciones, caminos		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Senecio salignus</i>	3	4
<i>Baccharis conferta</i>	3	3
<i>Eupatorium sp.</i>	3	2
Leguminosa	+	1
<i>Garrya laurifolia</i>	+	1
Abundancia: 5	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Baccharis conferta</i>	1	2
<i>Muhlenbergia macroura</i>	1	2
<i>Acaena elongata</i>	+	1
<i>Taraxacum officinale</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Geranium mexicanum</i>	2	2
<i>Muhlenbergia macroura</i>	1	2
<i>Acaena elongata</i>	1	1
<i>Potentilla candicans</i>	1	1
<i>Taraxacum officinale</i>	+	1
Gramínea	+	2
<i>Selloa glutinosa</i>	+	1
<i>Mimulus glabratus</i>	+	1
<i>Pteridium aquilinum</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	

GEOFACIES: IV _{6.1}	Matorral húmedo de jarilla (<i>Senecio salignus</i>), escobilla (<i>Baccharis conferta</i>) y eupatorium (<i>Eupatorium sp.</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Sta. Cruz Ayotusco	
ALTITUD (msnm): 3130	PENDIENTE: 8°	EXPOSICIÓN: Solana (Sur)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Fondo de valle en depresión intermontana		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Aclarados para pastoreo/Caminos		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBUSTIVO		
Baccharis conferta	2	3
Muhlenbergia macroura	1	2
Leguminosa	+	1
Abundancia: 2		Dinámica: Progresiva
ESTRATO SUBARBUSTIVO		

Baccharis conferta	1	1
Festuca amplissima	1	1
Leguminosa	+	2
Penstemon gentianoides	+	2
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Festuca amplissima	3	4
Veronica americana	3	3
Potentilla candicans	2	3
Herbacéa tipo tomillo	1	2
Baccharis conferta	1	1
Alchemilla sp.	+	2
Penstemon gentianoides	+	2
Gramínea	+	1
Cirsium jorullensis	+	1
Senecio actinella	+	1
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	

IV7. La geofacies del matorral de tepozán (*Buddleja americana*) con jarilla (*Senecio salignus*) e hilo (*Eupatorium glabratum*) sobre leptosol lítico en cimas, vertientes y laderas perturbadas.

En un peldaño de mayor ecumenización se sitúa el matorral arborescente de tepozán (*Buddleja americana*), especie que aparece con gran prontitud sobre sectores de laderas muy perturbados por acciones de gran transformación como son la apertura de tajos y la acumulación de escombreras. A pesar de que son formaciones pioneras, destacan por lo complejo de su estructura ("pirámide de vegetación" IV7), con el tepozán en el estrato arborescente y en el arbustivo otra planta también tolerante a las perturbaciones como es el hilo (*Eupatorium glabratum*), el cual con otras variadas plantas arbustivas y herbáceas conforma un enmarañada maleza en la que aparecen los primeros ejemplares fitoindicativos de la recuperación de los originales ambientes húmedos y frescos como son la escobilla (*Baccharis conferta*) la jarilla (*Senecio salignus*) y la pegarropa (*Acaena elongata*). Esta geofacies ocupa pues sectores de laderas desequilibrados y que permanecen aún sujetos a la presión que les suponen las actividades antrópicas, cuyos efectos se exacerban bajo el influjo de los altos gradientes topográficos del interior de los valles y del alto grado de deleznablez de los materiales.

GEOFACIES: IV ₇	Matorral de tepozán (<i>Buddleja americana</i>) con jarilla (<i>Senecio salignus</i>) e hilo (<i>Eupatorium glabratum</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: San Lorenzo Acopilco	
ALTITUD (msnm): 2950	PENDIENTE: 10°	EXPOSICIÓN: Solana (Este)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera inferior del valle del río Borracho		
SUELO: Antrosol úrbico		
LITOLOGÍA: Fragmentos vulcanoclásticos sueltos		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Escombrera		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Buddleja americana</i>	2	2
Abundancia: 2	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Eupatorium glabratum</i>	2	3
<i>Senecio salignus</i>	2	3
<i>Baccharis conferta</i>	1	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Eupatorium petiolare</i>	2	2
<i>Lamourouxia sp.</i>	1	2
<i>Eupatorium glabratum</i>	+	1
<i>Baccharis sp.</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Festuca sp.</i>	3	4
<i>Baccharis conferta</i>	3	2
Gramínea	2	3
<i>Lamourouxia sp.</i>	2	2
<i>Acaena elongata</i>	1	3
<i>Eupatorium glabratum</i>	1	1
<i>Buddleja americana</i>	+	1
<i>Senecio salignus</i>	+	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	

IV₈. La geofacies del zacatonal de *Muhlenbergia macroura* con zacate (*Festuca amplissima*), *Potentilla candicans* y oyamel (*Abies religiosa*) sobre andosol úmbico en superficies de relleno cinerítico o sobre fluvisol eútrico en superficies aluviales.

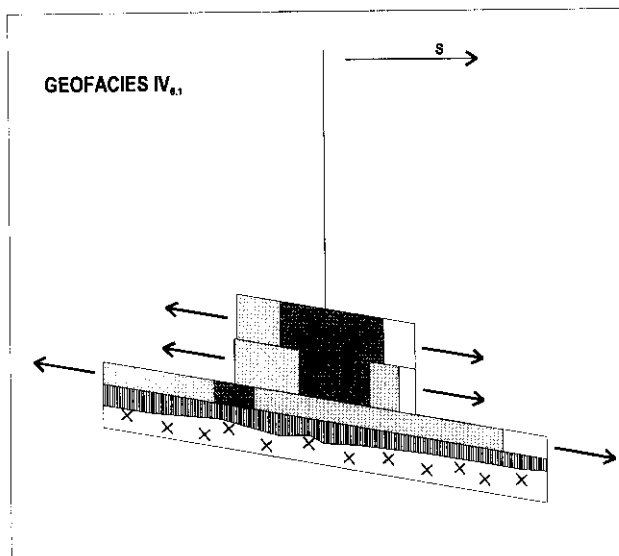
Los zacatonales del área del geosistema IV están, sin duda, muy familiarizados en su composición florística y estructura con los zacatonales de las agrestes vertientes y valles de los geosistemas II y III, pero, debido a una evolución distinta, presentan rasgos muy específicas que los particularizan. Colonizan los rellenos aluviales que se forman en los replanos de las áreas de confluencia o bien en los rellenos cineríticos de las cumbres en Las Cruces. La alta capacidad de absorción y el deficiente drenaje de esos materiales se resuelve con la expulsión de los abetales -poco tolerantes a las saturaciones- y su sustitución por este tipo de pastos, caracterizados por la presencia fitoindicadora de la *Potentilla*

candicans. Esta rosácea ha sido señalada por Rzedowskii (1988) como propia de los pastizales que siguen la línea sucesora del oyamel bajo condiciones de drenaje deficiente y, según nuestras propias observaciones, debe ser poco tolerante a las condiciones de frío intenso de los geosistema II y III.

GEOFACIES: IV _s	Zacatonal de <i>Muhlenbergia macroura</i> con zacate (<i>Festuca amplissima</i>), <i>Potentilla candicans</i> y oyamel (<i>Abies religiosa</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Sta. Cruz Ayotusco	
ALTITUD (msnm): 3140	PENDIENTE: 8°	EXPOSICIÓN: Solana (Sur)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Fondo de valle en depresión intermontana		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Aclarados para pastoreo/Caminos		

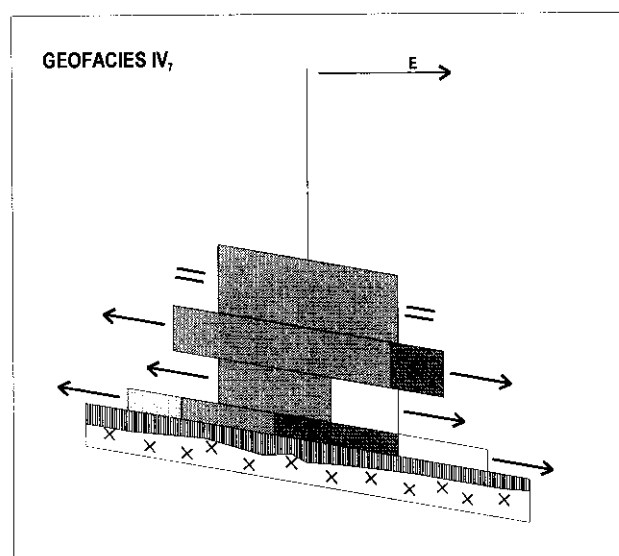
ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Abies religiosa</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Muhlenbergia macroura</i>	2	3
<i>Pinus Leiophylla</i>	+	1
<i>Agave ferox</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Penstemon gentianoides</i>	1	2
<i>Muhlenbergia macroura</i>	1	1
<i>Cirsium jorullense</i>	1	1
<i>Agave ferox</i>	+	1
<i>Baccharis conferta</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Festuca amplissima</i>	3	3
<i>Veronica americana</i>	2	3
<i>Alchemilla sp.</i>	2	3
Herbácea tipo tomillo	2	2
<i>Cirsium jorullense</i>	1	1
<i>Potentilla candicans</i>	+	2
Leguminosa	1	1
<i>Acaena elongata</i>	+	1
<i>Pinus sp.</i>	+	1
<i>Callistephus chinensis</i>	+	1
<i>Lamouroxia tenuifolia</i>	+	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	

No obstante su baja talla, estos zacatonales tienen una estructura compleja que consiste en tres estratos ricamente diversificados (casi 20 especies), con el zacatón (*Muhlenbergia macroura*) como fitodominante del estrato arbustivo, en el que además aparecen pinos oportunistas de los ambientes bien aireados. Por debajo de este nivel una amplia variedad de fitoindicadores de montaña se intercalan con plantas de amplia distribución, destacando por su carácter indicador la citada *Potentilla candicans*. Muy significativa también es la presencia de oyameles dispersos de talla arborescente o arbórea, que son relictos



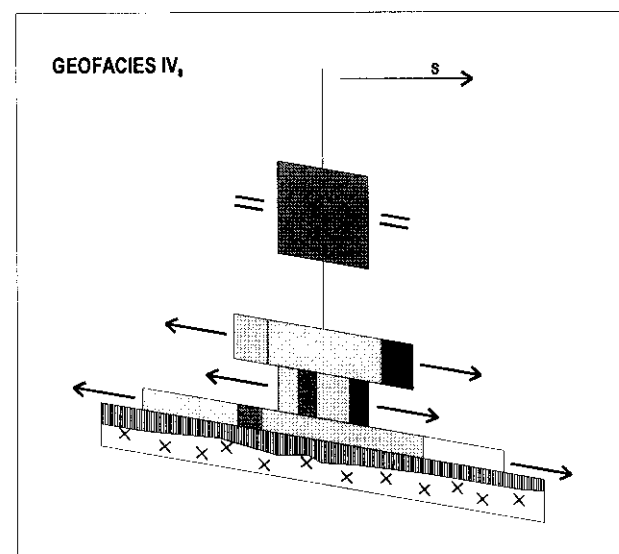
Matorral húmedo de jarilla (*Senecio salignus*), escobilla (*Baccharis conferta*) y eupatorium (*Eupatorium sp.*)

- Hierbas de amplia distribución: *Festuca amplissima*, *Muhlenbergia macroura*, *Senecio actinella*
- Arbustos húmedos: *Baccharis conferta*
- Hierbas de altura: *Alchemilla sp.*, *Cirsium jorullense*, *Penstemon gentianoides*, *Potentilla candicans*, *Veronica americana*
- Otras: gramínea, leguminosa
- Suelo: andosol úmbrico
- Substrato rocoso



Matorral de tepozán (*Buddleja americana*) con jarilla (*Senecio salignus*) e hilo (*Eupatorium glabratum*)

- Arbustos de amplia distribución: *Buddleja americana*, *Eupatorium glabratum*, *E. Petiolare*, *Senecio salignus*
- Hierbas de amplia distribución: *Festuca sp.*
- Arbustos húmedos: *Acaena elongata*, *Baccharis conferta*
- Otras: *Baccharis sp.*, gramínea, *Lamourouxia sp.*
- Suelo: antrosol úrbico
- Substrato rocoso



Zacatonal de *Muhlenbergia macroura* con zacate (*Festuca amplissima*), *Potentilla candicans* y oyamel (*Abies religiosa*)

- Pinos de amplia distribución: *Pinus Leiophylla*
- Hierbas de amplia distribución: *Festuca amplissima*, *Lamourouxia tenuifolia*, *Muhlenbergia macroura*
- Oyamel: *Abies religiosa*
- Arbustos húmedos: *Acaena elongata*, *Baccharis conferta*
- Hierbas de altura: *Alchemilla sp.*, *Callistephus chinensis*, *Cirsium jorullense*, *Penstemon gentianoides*, *Potentilla candicans*, *Veronica americana*
- Introducidas de cultivos: *Agave ferox*
- Otras: herbácea tipo tomillo, leguminosa
- Suelo: andosol úmbrico
- Substrato rocoso

Figura 10.13. Pirámides de vegetación de las geofacies IV₆, IV₇ y IV₈

de la que fuera una comunidad forestal abierta que se ha degradado a largo plazo. En cualquier caso, la dinámica de estas geofacies donde predominan las herbáceas amacolladas de gran talla es progresiva, propia de ambientes estables donde priman los flujos subsuperficiales lentos y exiguos o superficiales de baja capacidad de modelado.

IV₉. La geofacies del zacatal de *Festuca sp.* con *Potentilla candicans*, zacatón (*Muhlenbergia macroura*) y escobilla (*Baccharis conferta*) sobre andosol háplico o leptosol lítico en cimas, vertientes y laderas de valle.

Los zacatales de *Festuca sp.* son en definitiva el estadio con recubrimiento vegetal natural menos evolucionado del geosistema, vinculado a superficies que hasta hace poco tiempo estuvieron desnudas o roturadas y sujetas a la presión de distintos tipos de acciones antropógenas degradativas. Se les puede considerar - dada la presencia de la fitoindicadora *Potentilla candicans*, al igual que en los zacatonales antes descritos- un estadio de la sucesión de los abetales que resulta de la saturación de los suelos cineríticos. Como se aprecia en el inventario y la "pirámide de vegetación" correspondientes, se trata de una geofacies de pastizal con estructura y composición florística en sumo más sencilla y menos diversificada que la del zacatonal y en la que sobresalen pequeñas matas arbustivas de escobilla (*Baccharis conferta*) y zacatones (*Muhlenbergia macroura*) dispersos que señalan su dinámica progresiva. No obstante suelen estar afectados por la circulación epidérmica -y según lo dicte la pendiente topográfica y los tipos de substrato- por procesos de reptación o incluso por pequeños deslizamientos de los suelos y formaciones superficiales.

GEOFACIES: IV ₉	Zacatal de <i>Festuca sp.</i> con <i>Potentilla candicans</i> , zacatón (<i>Muhlenbergia macroura</i>) y escobilla (<i>Baccharis conferta</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: "Cerro" Las Cruces	
ALTITUD (msnm): 3075	PENDIENTE: 6°	EXPOSICIÓN: Solana (Suroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Llano de relleno aluvial		
SUELO: Andosol háplico		
LITOLOGÍA: Piroclastos re TRABAJADOS por erosión		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Construcción/Terreno abierto sin uso aparente		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBUSTIVO		
Baccharis conferta	1	2
Muhlenbergia macroura	1	1
Abundancia: 1		Dinámica: Poco progresiva
ESTRATO SUBARBUSTIVO		

<i>Baccharis conferta</i>	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Festuca sp.</i>	5	5
<i>Veronica americana</i>	3	3
<i>Tagetes lucida</i>	2	3
<i>Potentilla candicans</i>	1	2
Herbácea tipo tomillo	1	2
<i>Baccharis conferta</i>	1	2
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	

IV₁₀. La geofacies de las superficies cultivadas sobre andosol háplico en laderas cineríticas expuestas.

Del conjunto de paisajes que articulan este geosistema IV, las laderas roturadas son por la gran superficie que ocupan (equivalente a un 30% de su área total) la unidad que mejor diferencia este sistema natural respecto de los otros que dominan en las cumbres y laderas altas. La actividad agrícola es permanente, mediante la rotación de cultivos anuales de avena forrajera, frijol y maíz, cuyos productos se destinan tanto al consumo local como al comercio con el exterior. A pesar de que el contacto entre las áreas de cultivo y los espacios naturales refleja una imagen de conjunto que es armónica y hasta cierto punto agradable, evidentemente los sectores cultivados rompen la continuidad de los bosques, de los que frecuentemente quedan pequeños enclaves aislados crecientemente alterados por efecto del brusco intercambio de energía y materia que tienen con las áreas de labor. Es por tanto, una geofacies muy dinámica y en expansión, en la que la actividad antrópica es el principal factor de la estructura y el funcionamiento del sistema.

IV₁₁. La geofacies de los enclaves perturbados y sin recubrimiento vegetal de los entornos de los pueblos y ejes de infraestructura.

Los enclaves desprovistos de vegetación son aún en este geosistema poco representativos y, aunque están afectados por una morfodinámica más intensa, su origen tienen poca relación con la dinámica natural de las laderas y más con las acciones antropógenas, en particular con las relacionadas con la acumulación de materiales de remoción sobre las laderas y la formación taludes desnudos muy sensibles. La mayor parte de estas acciones está vinculada a la construcción

de habitaciones en los entornos a los pueblos y, en menor medida, a las actividades agrícolas y al emplazamiento de grandes obras de infraestructura (cruce de autovías y caminos, líneas de luz y de conductos), muchas de las cuales son ya antiguas y registran diverso grado de regeneración natural de las coberturas vegetales.

10.2.4.1. La serie del abetal de las cumbres de Las Cruces y laderas bajas de Catedral y San Miguel.

La configuración paisajística del geosistema IV difiere diametralmente de la que presentan los geosistemas I, II y III debido a que la mayor proximidad y accesibilidad a la ciudad ha implicado una pronta e intensa implantación del sistema de aprovechamientos agropecuarios y la puesta en marcha de un sistema eficaz de sustitución de superficies arboladas por campos de cultivo necesarios para el abastecimiento de la urbe. De esta forma el eslabón clímax original del sistema, que corresponde con los bosques puros de abeto (geofacies IV₁), pasa por desmonte y roturación a conformar espacios de cultivo (geofacies IV₁₀) o bien -tras el abandono de éstos o directamente por fenómenos naturales asociados a la dinámica geomorfológica- a estadios carentes de recubrimiento forestal y edáfico (geofacies IV₁₁).

No obstante, las tendencias regenerativas de la explotación biológica están mejor definidas que los procesos regresivos y permiten el establecimiento de una dinámica general de tipo progresivo, que es más evidente durante las primeras fases de sustitución. Así, las parcelas abandonadas son colonizadas en una primera fase por una vegetación de zacatales de *Festuca sp.* (geofacies IV₉) en los que ya se aprecian fitoindicadores de una tendencia de evolución que lleva hacia la recuperación de los abetales originales como es la *Potentilla candicans*. Una posterior densificación y mayor dominio de los pastos amacollados de *Muhlenbergia macroura* (geofacies IV₈) constituye una segunda fase previa al desarrollo de las formaciones de matorral, definiéndose sobre todo en estos últimos la creciente aparición y dominio de los arbustos de escobilla (*Baccharis conferta*), jarilla (*Senecio salignus*) y eupatorium (*Eupatorium sp.*), de gran afinidad montañosa (geofacies IV₆). Otra vía común en la regeneración se da a partir de las superficies desnudas que son colonizadas directamente por un

matorral pionero de tepozán (geofacies IV₇) que marca la línea evolutiva para el dominio posterior del matorral húmedo.

La aparición y evolución de las comunidades forestales ha sido un tema abordado por Rzedowskii (1988), con cuyas conclusiones coinciden básicamente los resultados del análisis efectuado en estas áreas de la sierra. Todo indica ciertamente que a partir de los matorrales la evolución vegetal pasa en un principio por la colonización de plantas altamente tolerantes que cumplen la función de preparar el terreno para la ulterior aparición de especies más sensibles; así el primer peldaño está ocupado, según dicten las condiciones topográficas locales, por las comunidades puras de encino (geofacies IV₅) o de aile (geofacies IV₄). Una etapa posterior se define por la aparición "oportunist" de diversas especies de pinos que se mezclan con las latifoliadas en comunidades mixtas (geofacies IV₃) probablemente aprovechando -como se ha visto en otros casos (Eckelmann, 1995)- la sombra de las latifoliadas o bien favoreciéndose de conos serotinos que las ponen en situación ventajosa tras los incendios forestales. La aparición y dominio de los oyameles depende pues de una gradual evolución hacia comunidades cada vez más complejas, cuyas estructuras les sirven de almacén protectora ante el embate atmosférico. Por eso a los bosque mixtos de pinos y latifoliadas sigue uno de oyamel con encinos (geofacies IV₂) y finalmente la recuperación de la comunidad clímax del bosque puro de oyamel (geofacies IV₁).

Aunque la ocupación de las laderas y cumbres correspondientes a este geosistema es un fenómeno muy antiguo, el mecanismo actual de intensa sustitución de usos forestales por agropecuarios es relativamente reciente y no va más allá unas cuatro décadas, razón por la cual no ha transcurrido el tiempo suficiente para observar el ciclo completo de sustituciones. Sin embargo, es de suponer que las dos últimas etapas de la evolución en que se da la aparición de los oyameles y la recuperación de un estado casi climácico están hoy mismo restringidas y tienen grandes dificultades para poderse completar con éxito, dado el alto grado de alteración del medio y los frecuentes incendios que son mejor tolerados por los pinos (de conos serotinos) y por los encinos (que se reproducen a partir de tocones). Algunos procesos naturales como es la sustitución de los abetales por formaciones de pastos en condiciones de saturación del suelo se han reducido por efecto de la alteración de los patrones hidrológicos que implican un

decremento de los potenciales hídricos. Puede decirse en conclusión que el potencial ecológico de la vertiente ha venido a menos, generando ambientes muy expuestos que no brindan la necesaria protección para el rápido emplazamiento de los recubrimientos vegetales forestales más valiosos, por lo que la línea sustitutoria progresiva tiene pocas posibilidades de continuar a largo plazo, habiendo iniciado por tanto un giro en el sentido de la evolución del sistema.

10.2.5. El geosistema V, frío y muy húmedo de las laderas bajas del macizo San Miguel, con bosques mixtos de oyamel, pinos, encinos y cuachichie, aprovechamiento agrícola, recreativo y ocupación habitacional concentrada en pueblos.

La característica morfológica que mejor define este quinto geosistema reconocido en la subregión natural de montaña es la energía topográfica de las vertientes que constituyen su área, comparativamente de las más vigorosas (entre 2800 y 3200 msnm) y empinadas, con un declive medio superior a 15° que se incrementa hasta superar los 30° en el interior de los numerosos valles que las disecan. Dichas vertientes están modeladas sobre un substrato potente que intercala cuerpos dómicos, derrames lávicos y de depósitos piroclásticos texturalmente gruesos -con importante contenido de bloques- además de depósitos tobáceos masivos y, coronando al conjunto, un manto discontinuo de cenizas (todos ellos productos del último episodio paroxísmico volcánico en la sierra, datado en hace 170.000 años). Pero, pese a la relativa juventud del sector, el modelado ha sido intenso y en él existen relictos que sugieren una importante actividad externa durante el Cuaternario. El gran volumen de las formaciones y depósitos, aunado al marcado desnivel de las laderas y a su alto grado de exposición a los vientos dominantes del noreste permitieron durante los últimos periodos más fríos del Pleistoceno la apertura y evolución de valles profundamente encajados sobre las líneas de fractura.

Una vez establecido este “armazón de valles” la entrada de los vientos del noreste se reafirma como factor fundamental en la evolución de la vertiente. Las masas chocan frontalmente con la pared montañosa y son desviadas lateralmente

y forzadas a ascender, determinando un ambiente climático bien aireado, de semifrío a frío y muy lluvioso. Las temperaturas anuales se sitúan entre 11° y 13°, pudiéndose acercar a los 18° las medias en los meses de verano, y las precipitaciones anuales rondan los 1200 mm de media, concentradas en el verano pero sin llegar a afectar el equilibrio entre el número de meses húmedos y secos. Si bien los incrementos térmicos permiten un aumento de la ETP respecto de los valores alcanzados en los geosistemas I, II y III, se generan importantes excedentes hídricos -del orden de los 600 a 800 mm anuales-, una parte importante de los cuales se acumulan y permanecen durante largos periodos en la epidermis de los ámbitos forestales hasta percolar a profundidad, constituyéndose al área como importante centro de recarga de los mantos acuíferos.

Otra parte de los excesos de agua circula en o muy cerca de la superficie y se incorpora rápidamente a las redes de corrientes canalizadas cuyos principales ejes coinciden con cursos de régimen semipermanente de los ríos Borracho y Santo Desierto, siendo el resto arroyos de régimen temporal. La vasta red de corrientes concentradas es el eje fundamental del modelado actual que de esta forma consiste en acciones de incisión fluvial asociadas con caída de rocas y otros fenómenos de fuerte control gravitacional, que llevan al retroceso sistemático de las laderas de valle, así como reptaciones que afectan al suelo y a los mantos superficiales sobre las vertientes de divisoria de agua.

El contenido edáfico es a grandes líneas el mismo que ya se ha señalado para otros geosistemas de montaña y que tiene como unidad principal al andosol úmblico, rico en materia orgánica y con alto contenido de humedad durante todo el año. A partir de esta base y bajo la condición de un decremento en los aportes orgánicos que comúnmente se asocian a la eliminación de la cobertura vegetal, se entra en un proceso de degradación y evolución de la variante háplica. Localmente, sobre paredes empinadas en las que aflora el roquedo duro y compacto de andesita, se da una modalidad de edafogénesis más limitada que se resuelve en facies líticas del andosol o en el leptosol lítico. Cabe señalar que con frecuencia los mantos cineríticos que recubren las laderas empinadas son muy delgados, lo que confiere a los andosoles úmblicos una particular fragilidad y

una baja capacidad para soportar los aprovechamientos agropecuarios tradicionales que son comunes en otras partes de la vertiente.

El contenido de las cubiertas vegetales es muy amplio y diversificado, toda vez que este geosistema V se halla inmerso en el "piso de transición", donde están representados los tres elementos básicos de la flora de la sierra -el oyamel, los pinos y los encinos-; más concretamente se ubica en el "subpiso intermedio", caracterizado por bosques mesófilos que tienen como elemento diferenciador al cuauchichie (*Garrya laurifolia*), especie especializada en ambientes húmedos y frescos al tiempo que poco tolerante a la alteración de su medio. Este importante fitoindicador de la estabilidad ecológica reinante forma comunidades mixtas con los oyameles o los encinos, constituyendo algunos de los bosques más extensos y densos de la sierra.

La intervención del hombre en el sistema natural está marcado por la variedad de los aprovechamientos, entre los que destacan los habitacionales de mediana y alta densidad que se concentran en una amplia extensión de la base de las laderas. Esta ocupación estuvo en sus orígenes relacionada con la agricultura de baja producción que se efectuaba en las laderas convexas de los entornos a los pueblos Chimalpa, Acopilco y Xochiac, pero que ya formaba parte del patrón de sustitución del uso del suelo forestal por el agropecuario y luego de éste por el habitacional característico del cinturón rural que bordea a la capital. Este patrón se mantuvo estable hasta la década de los años cuarenta de este siglo, en que el área pasó a ser un ámbito afectado directamente por las transformaciones asociadas a la dinámica urbana. Los antiguos pueblos incrementaron el ritmo de crecimiento de las superficies construidas, al tiempo que el área urbana de la capital alcanzó la base de las montañas de San Miguel.

De este modo el área se consolidó como la principal "línea de tránsito" entre el Distrito Federal y Toluca (capital del Estado de México), lo que supuso el desmonte de amplias extensiones para el emplazamiento de una autopista, una autovía, líneas de cableado y de acueductos que unen ambas capitales, con la consecuente reducción del tiempo de acceso desde los pueblos del interior de la

sierra (Chimalpa y Acopilco) al centro de la urbe y la aceleración del proceso de ocupación en torno a dichos ejes. Con ello el sistema de sustitución de los usos del suelo ha sido trastocado y hoy las masas forestales son sustituidas directamente por los usos habitacionales, para lo cual los bosques son talados expresamente para tal fin. Además de la citada "línea de tránsito" existe otro frente de expansión urbana, sujeto a similares condiciones de impacto ambiental con centro en el pueblo de Santa Rosa Xochiac.

Los paisajes de bosque correspondientes a este geosistema que se han conservado quedan en gran parte contenidos en el Parque Nacional del Desierto de los Leones, lo que ha implicado la realización de actividades tendentes a la recuperación de las áreas más afectadas mediante la reforestación con especies de pináceas y la promulgación de una legislación que limita el aprovechamiento de estos últimos espacios a fines exclusivamente recreativos, sin posibilidad alguna de ocupación. Pero hay que reconocer que la Figura de Parque Nacional se cruza con otras figuras legales (como es el Área de Protección Forestal designada parte del gobierno capitalino) que entorpecen la práctica de la conservación, la cual ha sido poco eficiente derivándose de ello negativas consecuencias para el conjunto del geosistema. Los subsistemas de las aguas, los suelos, la vegetación y del relieve son frecuentemente agredidos por los visitantes y en la actualidad estas superficies continúan amenazadas y en grave riesgo de ver deteriorarse irreversiblemente el sistema natural en su conjunto.

Como consecuencia de la violenta y creciente ecumenización de una parte del geosistema V, éste se divide en dos ámbitos espacialmente bien delimitados: por una parte los espacios deforestados que están incorporados a la dinámica rural-urbana de los suburbios; y por otra el área forestal, densa y encerrada en sí misma, que queda fuera del sistema de los aprovechamientos agrícolas o habitacionales, constituyéndose como una geocora casi única. Por esta razón la diversidad paisajística interna del geosistema es algo menor que la del geosistema IV -con el que comparte el piso de transición-, contando con nueve geofacies, que reflejan otros tantos estados distintos del geosistema y que se describen a continuación.

V1. La geofacies del bosque mesófilo de cuauchichie (*Garrya laurifolia*) con oyamel (*Abies religiosa*), pinos (*Pinus spp.*) y encinos (*Quercus spp.*) con sotobosque de senecio (*Senecio barba-Johannis*) sobre andosol úmbrico en laderas resguardadas del curso medio de los valles y barrancos.

El bosque mesófilo de cuauchichie (*Garrya laurifolia*) es una de las comunidades vegetales más peculiares y que expresa uno de los extremos de la vasta diversidad biótica que guarda la vertiente. El cuauchichie es un elemento altamente especializado en ambientes de gran frescura y abundantemente humedad, al tiempo que muy sensible al embate atmosférico -y en particular a la insolación y al azote del viento-. Por ello, estas comunidades cuyo paisaje tiene notables similitudes con el de las "laurisilvas" aparecen cobijadas en las umbrías de la margen derecha de los valles y barrancos (caso del valle del río Santo Desierto), sobre suelos cineríticos ricos en materia orgánica y húmedos durante todo el año.

GEOFACIES: V1	Bosque mesófilo de cuauchichie (<i>Garrya laurifolia</i>) con oyamel (<i>Abies religiosa</i>), pinos (<i>Pinus spp.</i>) y encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de senecio (<i>Senecio barba-Johannis</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: San Lorenzo Acopilco	
ALTITUD (msnm): 2980	PENDIENTE: 15°	EXPOSICIÓN: Umbría (Noreste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera superior de valle, vertiente al río Santo Desierto		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones piroclásticas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
Garrya laurifolia	1	2
Abies religiosa	1	2
Quercus mexicana	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
Garrya laurifolia	5	5
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Musgo	+	2
Garrya laurifolia	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

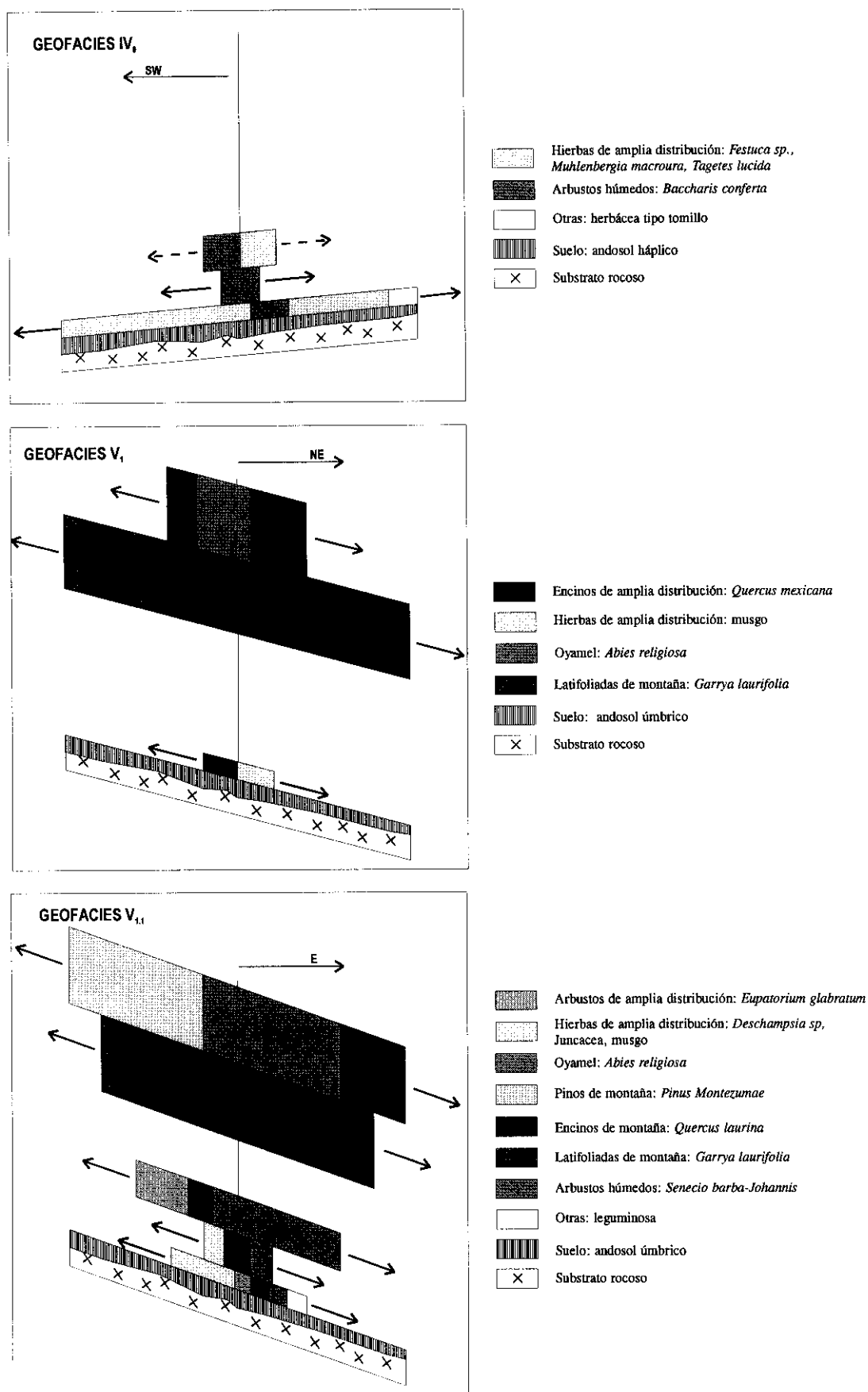


Figura 10.15. Pirámides de vegetación IV₁, V₁ y V_{1.1}

En la pirámide de vegetación V₁ y en el correspondiente inventario se la notable simpleza estructural y de composición florística de esta geofacies: los cuauchichies forman un denso manto arbóreo de menos de 15 m, del que sobresalen dispersos individuos de la misma *Garrya*, de oyamel y de algunos pinos y encinos entre los que destacan el encino tezahuatl (*Quercus mexicana*) y el laurelillo (*Quercus laurina*), que proporcionan una efectiva protección y sombra sobre las laderas de los valles; por debajo, los sotobosques son más bien ralos y en ocasiones casi inexistentes, pudiendo no obstante presentar mayor evolución (pirámide V_{1.1}), con los cuauchichies mezclados con otras plantas adaptadas a la penumbra y a la abundante humedad como los senecios (*S. barba-Johannis*), el hilo (*Eupatorium glabratum*) y algunas juncáceas y epífitas, entre musgos y los helechos. Es, sin embargo, una geofacies de notable equilibrio natural poco afectada por el antropismo, que se mantiene en evolución progresiva de los suelos y de la vegetación mesófila que soporta.

GEOFACIES: V _{1.1}	Bosque mesofilo de cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>) con oyamel (<i>Abies religiosa</i>), pinos (<i>Pinus spp.</i>) y encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosue de senecio (<i>Senecio barba-Johannis</i>)		
FECHA: Febrero/97		LUGAR: Desierto de los Leones	
ALTITUD (msnm): 3010		PENDIENTE: 20°	EXPOSICIÓN: Solana (Este)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera media de barranco, vertiente al arroyo Santo Desierto			
SUELO: Andosol úmbrico			
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones piroclásticas			
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian			

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Pinus Montezumae</i>	4	2
<i>Quercus laurina</i>	3	1
<i>Abies religiosa</i>	2	1
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Garrya laurifolia</i>	4	4
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Senecio barba-Johannis</i>	3	3
<i>Eupatorium glabratum</i>	1	1
<i>Garrya laurifolia</i>	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		

Carrizo	1	2
<i>Senecio barba-Johannis</i>	1	1
<i>Quercus laurina</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBACEO		
<i>Deschampsia sp.</i>	2	3
<i>Garrya laurifolia</i>	+	2
<i>Senecio barba-Johannis</i>	+	1
<i>Eupatorium glabratum</i>	+	1
juncácea	+	1
Leguminosa	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	

V₂. La geofacies del bosque mesófilo de oyamel (*Abies religiosa*) y cuachichie (*Garrya laurifolia*) con sotobosque de senecios (*Senecio roldana* y *S. barba-Johannis*), capulincillo (*Ribes affine*) y cuachichie sobre andosol úmbrico en laderas resguardadas del curso alto de los valles y barrancos.

Coloniza esta comunidad mesófila las los mismos ambientes frescos y resguardados que la geofacies V₁, aunque con una clara tendencia por ocupar sectores más altos y adecuados para el dominio de los oyameles. En el inventario y la pirámide V₂ se observa su amplia cobertura, con un manto arbóreo de cuauchichies (*Garrya laurifolia*), del que sobresalen ejemplares aislados de oyamel (*Abies religiosa*) de gran talla. Debido al ambiente de penumbra que reina bajo el dosel así formado, los sotobosques tienden a ser más bien escuetos provocando un angostamiento de la pirámide, aunque son más amplios y diversificados que en el geosistema anterior. Así, los estratos inferiores se componen de los renuevos del cuauchichie y de otras plantas de preferencias húmedas y penumbrosas que ya anteriormente habían sido familiarizados con los bosques de oyamel y entre los que destacan por su dominio los senecios (*S. barba-Johannis* y *S. roldana*) y el capulincillo (*Ribes affine*).

Se trata de una geofacies de bosque maduro que presentan una cierta estabilidad en los estratos más altos, al tiempo que los sotobosques son muy dinámicos y en franca progresión, sin duda favorecidos por efecto de las perturbaciones. Y es de destacar que los individuos dispersos de latifoliadas -encinos (*Quercus sp.*), jaboncillo (*Clethra mexicana*) o madroños (*Arbutus sp.*) , que en la unidad

anterior alcanzaban tallas arbóreas, en esta acusan menos desarrollo. Debido a su ubicación en el centro de la masa forestal y a su relativa lejanía de los centros de mayor antropización, las perturbaciones no son intensas, hallándose también a resguardo de las masas de aire contaminadas. Se puede considerar, pues, como una facies paisajística equilibrada y en franca evolución progresiva.

GEOFACIES: V ₂	Bosque mesófilo de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>) con sotobosque de senecios (<i>S. roldana</i> y <i>S. barba-Johannis</i>), capulincillo (<i>Ribes affine</i>) y cuachichie	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: San Lorenzo Acopilco	
ALTITUD (msnm): 3042	PENDIENTE: 15°	EXPOSICIÓN: Umbría (Noreste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera superior de valle, vertiente al río Santo Desierto		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones piroclásticas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Veredas		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Abies religiosa</i>	2	1
Abundancia: 2	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Garrya laurifolia</i>	4	3
Abundancia: 4	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Senecio roldana</i>	3	4
<i>Garrya laurifolia</i>	2	2
<i>Senecio barba-Johannis</i>	1	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Ribes affine</i>	2	2
<i>Senecio baraba-Johannis</i>	1	2
<i>Garrya laurifolia</i>	+	1
<i>Quercus castanea</i>	+	1
<i>Clethra mexicana</i>	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Eupatorium glabratum</i>	1	2
<i>Eupatorium sp.</i>	+	1
<i>Fuchsia microphylla</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Musgo	1	2
<i>Baccharis conferta</i>	1	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

V₃. La geofacies del bosque mixto de oyamel (*Abies religiosa*), pino lacio (*P. pseudostrobus*) y encinos (*Quercus spp.*) con sotobosque de senecio (*S. barba-Johannis*) y cuachichie (*Garrya laurifolia*) sobre andosol úmbrico en laderas intervenidas del curso bajo de los valles y barrancos.

Las laderas bajas del macizo San Miguel dan frente a las extensas áreas que ya han sido desmontadas, ocupadas e incorporadas a un tipo de dinámica rural-urbana, al tiempo que son frecuentemente invadidas por visitantes del Parque Nacional Desierto de los Leones, sobre todo en los entornos a los dos caminos que atraviesan el bosque. En el borde de estas franjas de mayor alteración los bosques manifiestan una grave transformación estructural que en principio afecta a los elementos más sensibles como el cuauchichie, que desaparece del estrato arbóreo, quedando éste reducido a ejemplares dispersos de oyamel (*Abies religiosa*), pino lacio (*P. pseudostrobus*) y encinos propios del área, como el laurelillo (*Quercus laurina*), el tezahuatl (*Q. mexicana*) y el negro (*Q. castanea*).

En contraste, los sotobosques se enriquecen y densifican, dando a la pirámide que representa a esta geofacies (inventario y pirámide V₃) una base amplia. Los estratos inferiores incluyen una gran variedad de hierbas y malezas que son frecuentes en ambientes alterados en toda la sierra, como el tomatillo (*Physalis acuminata*) -una fitoindicadora de ambientes nitrificados- además de *Brickellia pendula*, *Salvia elegans* y diversas gramíneas. Dichos estratos manifiestan una dinámica progresiva, que indica una continuidad en la degradación de los suelos; y, dada la tendencia actual de las intervenciones, se puede prever una continuación del desequilibrio ecológico que caracteriza la dinámica de esta geofacies.

GEOFACIES: V ₃	Bosque mixto de oyamel (<i>Abies religiosa</i>), pino lacio (<i>P. pseudostrobus</i>) y encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de senecio (<i>Senecio barba-Johannis</i>) y cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Desierto de los Leones	
ALTITUD (msnm): 2965	PENDIENTE: 20°	EXPOSICIÓN: Umbría (Noreste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera media de barranco		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones piroclásticas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
Abies religiosa	1	1
Pinus pseudostrobus	1	1
Quercus castanea	1	1
Abundancia: 2	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBORESCENTE		
Senecio barba-Johannis	3	3
Garrya laurifolia	+	1
Fuchsia minimiflora	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Senecio barba-Johannis	2	3
Garrya laurifolia	1	3
Senecio angulifolius	1	2
Smilax moranensis	1	2
Ribes rugosum	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Salvia elegans	2	4
Garrya laurifolia	1	2
Carrizo	1	2
Senecio barba-Johannis	1	1
Fuchsia minimiflora	+	1
Brickellia pendula	+	1
Physalis acuminata	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Carrizo	1	2
Gramínea tipo avena	1	2
Senecio barba-Johannis	1	1
Garrya laurifolia	+	1
Fragaria sp.	+	1
Pteridium aquilinum	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	

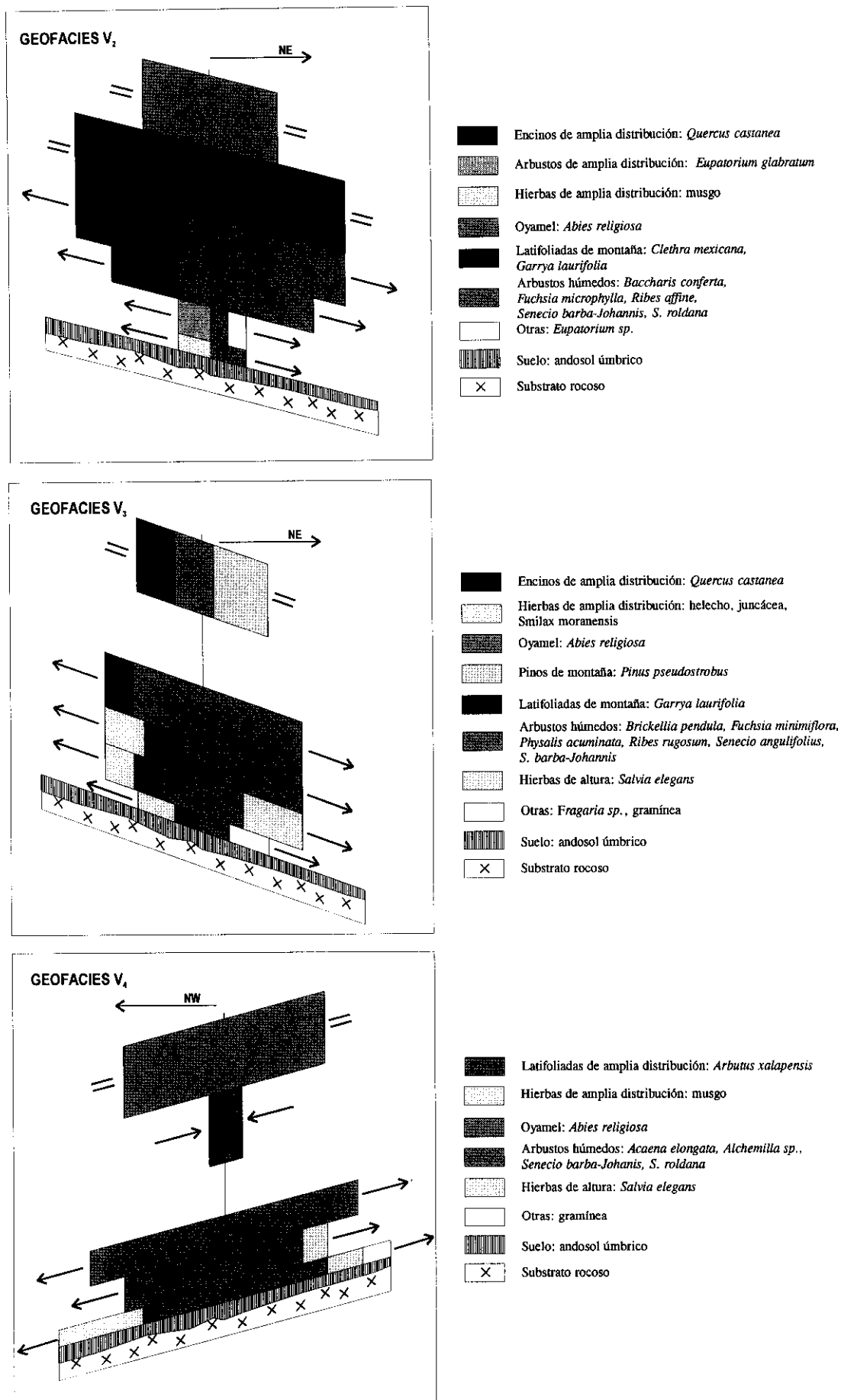


Figura 10.16. Pirámides de vegetación V₂, V₃ y V₄

V4. La geofacies del bosque de oyamel (*Abies religiosa*) con madroño (*Arbutus xalapensis*) y sotobosque de senecios (*Senecio roldana* y *S. barba-Johannis*) y pegarropa (*Acaena elongata*) sobre andosol úmbrico en laderas resguardadas en el interior de valles y barrancos.

Otro tipo de abetales casi puros son el recubrimiento característico de los sectores de vertiente que, si bien están resguardados en el interior de los valles, acusan ya una evidente perturbación antropógena, mayormente asociada al frecuente paso de visitantes. Son bosques de gran porte y amplia cobertura arbórea, pero con una sentida cerencia de cuauchichies, que se ha interpretado como una consecuencia de la alteración del sistema hidrológico y del consecuente decremento de las capacidades geoecológicas originales. Dicha alteración se confirma con la presencia del madroño (*Arbutus xalapensis*), ericácea común de los abetales y de otras formaciones (de pináceas o encinares) que también acusan deterioro ambiental.

En el inventario y la pirámide correspondientes a esta geofacies V4 se observa una gran simplicidad en los estratos altos, que contrasta con un sotobosque denso y enriquecido por herbáceas y arbustos de afinidad montañosa que forman un manto de gran nivel de cobertura. Estos niveles bajos de la vegetación son pues los que concentran una mayor dinámica progresiva, al tiempo que los ejemplares arbóreos parecen tener pocas posibilidades de regeneración, poniendo en situación de peligro la continuidad de este tipo de comunidad forestal.

GEOFACIES: V4	Bosque de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) con madroño (<i>Arbutus xalapensis</i>) y sotobosque de senecios (<i>S. roldana</i> y <i>S. barba-Johannis</i>) y pegarropa (<i>Acaena elongata</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Desierto de los Leones	
ALTITUD (msnm): 3010	PENDIENTE: 15°	EXPOSICIÓN: Umbra (Noroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera inferior del valle del río Borracho		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones piroclásticas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Abies religiosa</i>	3	2
Abundancia: 3	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Arbutus xalapensis</i>	+	1

Abundancia: +	Dinámica: Regresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Senecio roldana	3	3
Senecio barba-Johannis	2	3
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Senecio barba-Johannis	3	3
Senecio roldana	1	1
Salvia elegans	+	1
Acaena elongata	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Acaena elongata	4	4
Musgo	3	3
Senecio roldana	1	1
Alchemilla sp.	1	1
Gramínea	1	1
Sibthorpia picchinchensis	+	2
Gnaphalium sp.	+	1
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	

V₅. La geofacies del bosque joven de repoblación con oyamel (*Abies religiosa*) y/o pinos (*Pinus spp.*) sobre andosol úmbrico en divisorias y valles.

Se incluyen dentro del área del geosistema V varios enclaves muy perturbados que han sido objeto de prácticas de recuperación de la cubierta vegetal mediante la repoblación con pináceas nativas, como el oyamel (*Abies religiosa*) y el pino lacio (*P. pseudostrobus*), con de especies externas que con el tiempo se han naturalizado, como el pino colorado (*P. patula*). Esta diversidad de especies, aunada a las distintas técnicas empleadas en las repoblaciones, a las condiciones específicas de los sitios en que se practican y al tiempo de evolución de las comunidades, han llevado a la configuración de distintas formaciones vegetales, que asimismo son muy variadas en la forma de respuesta y el grado de adaptación al medio. Así, se han diferenciado dos geofacies fundamentales ligadas a la repoblación, de las cuales la que aquí se describe corresponde a las plantaciones de baja talla, jóvenes e inestables, que además de las pináceas

rápido crecimiento, como el capulín (*Prunus capuli*), el tepozán (*Buddleja americana*) y el capulincillo (*Ribes affine*), como se observa en el inventario y la pirámide V₅. Es típica de bordes de caminos y de las áreas de mayor frecuencia de visitantes del Parque Nacional, constituyendo enclaves inestables y sujetos a un tipo de perturbación intensa que limita en muchos casos la progresión de la cubierta biótica.

GEOFACIES: V ₅	Bosque joven de repoblación con oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y/o pinos (<i>Pinus spp.</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Desierto de los Leones	
ALTITUD (msnm): 2996	PENDIENTE: 25°	EXPOSICIÓN: Umbría (Noroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Superficie divisoria de aguas		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones piroclásticas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Pinus patula</i>	2	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Pinus pseudostrobus</i>	4	4
<i>Pinus patula</i>	3	2
<i>Prunus capuli</i>	+	1
<i>Buddleja americana</i>	+	1
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Ribes affine</i>	1	2
<i>Pinus pseudostrobus</i>	+	1
<i>Senecio barba-Johannis</i>	+	1
Leguminosa	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Leguminosa	1	2
<i>Ribes affine</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Alchemilla sp.</i>	2	3
<i>Thelypodium pallidum</i>	1	2
Musgo	+	2
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	

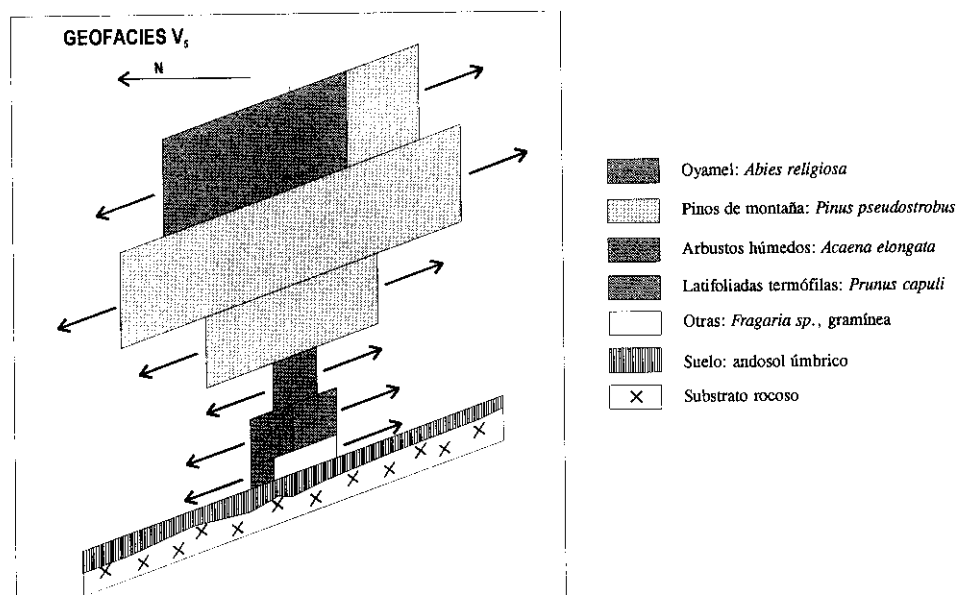
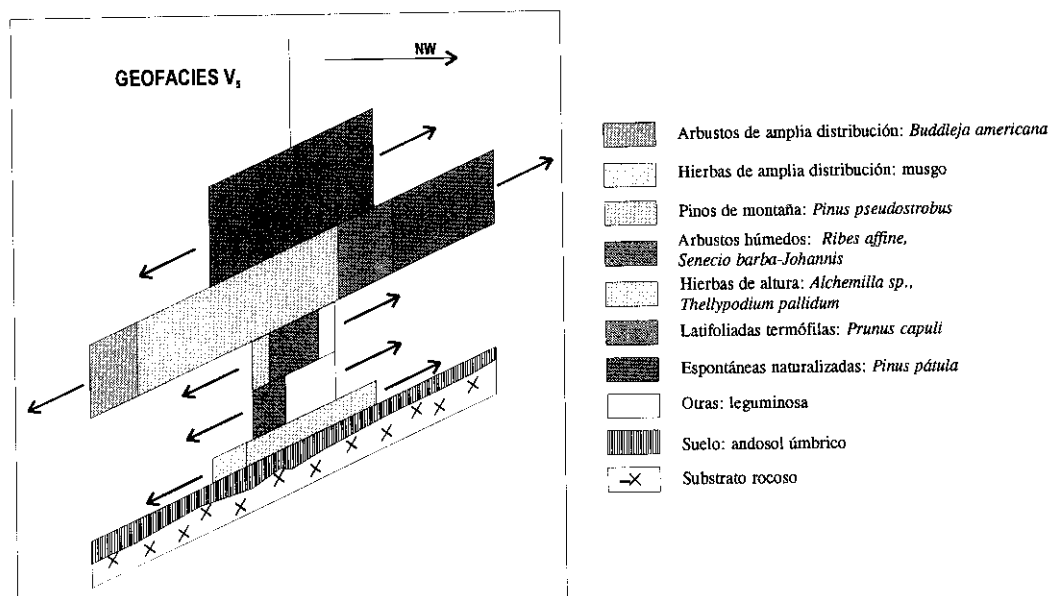


Figura 10.17. Pirámides de vegetación V₅ y V₆.

V6. La geofacies del bosque maduro de oyamel (*Abies religiosa*) y/o pinos (*Pinus spp.*) de repoblación sobre andosol úmbrico en divisorias, valles y barrancos.

Junto con la geofacies anterior, baja e inestable, las repoblaciones efectuadas en el área del geosistema V han dado lugar a paisajes forestales con alto grado de evolución y de adaptación al medio. Como se observa en el inventario y la pirámide V6, se caracterizan éstos por una cubierta vegetal de gran porte y alta densidad compuesta en sus niveles superiores por pináceas, estando el estrato arbóreo superior ocupado por el oyamel (*Abies religiosa*) y pino lacio (*P. pseudostrobus*) que, por lo menos en algunos casos, constituyen los vestigios de la comunidad original. En los estratos arbóreo inferior y arborescente se expande un amplio manto de pino lacio de repoblación y se pueden presentar dispersas algunas latifoliadas cuya frecuencia ya ha sido señalada en estos bosques, como el capulín (*Prunus capuli*) y el madroño (*Arbutus xalapensis*). Los sostobosques, bajo los ambientes de penumbra así establecidos, son escuetos y poco diversificados, con las mismas especies latifoliadas además de otras plantas de afinidad montañosa, como la típica pegarropa (*Acaena elongata*). Si bien el emplazamiento de estos bosques coincide con los mismos sitios de la geofacies V5, anteriormente descrita, se aprecia una tendencia por ocupar sectores algo más alejados de los enclaves de mayor impacto antrópico, por lo que disfrutan de mayor salud y manifiestan en conjunto un evolución progresiva.

GEOFACIES: V6	Bosque maduro de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y/o pinos (<i>Pinus spp.</i>) de repoblación	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Desierto de los Leones	
ALTITUD (msnm): 2960	PENDIENTE: 20°	EXPOSICIÓN: Umbría (Norte)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera inferior de barranco, vertiente al arroyo Santo desierto		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones piroclásticas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Abies religiosa</i>	3	1
<i>Pinus pseudostrobus</i>	1	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Pinus pseudostrobus</i>	4	3
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	

ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Pinus pseudostrobus</i>	2	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Prunus capuli</i>	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Acaena elongata</i>	+	2
<i>Prunus capuli</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Fragaria sp.</i>	1	4
Gramínea tipo avena	1	1
<i>Acaena elongata</i>	+	3
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

V7. La geofacies del matorral de tepozán (*Buddleja americana*) con jarilla (*Senecio salignus*) e hilo (*Eupatorium glabratum*), sobre leptosol lítico en vertientes y laderas perturbadas.

Esta geofacies es propia de los sectores de vertiente que, habiendo sido objeto de fuertes impactos antrópicos capaces de despojarlos de sus recubrimientos bióticos originarios, se muestran hoy inmersos en una dinámica de inicial recuperación. Dichos sectores, parcialmente desnudos y recubiertos por suelos delgados (leptosoles líticos), soportan una vegetación pionera definible como un matorral de tepozán, cuyos caracteres se pueden apreciar en el inventario y la pirámide IV₇, donde destaca la presencia de los primeros renuevos de plantas de gran afinidad montañosa y que son típicas de los abetales, como la pegarropa (*Acaena elongata*) y la jarilla (*Senecio salignus*). Dicha presencia se puede considerar indicativa de una cierta tendencia progresiva en la evolución del sistema, que no obstante continúa por lo común bajo la presión de las acciones antrópicas.

V8. La geofacies de las superficies cultivadas sobre andosol háplico en laderas cineríticas expuestas.

Dentro del área del geosistema V la actividad agrícola no se distribuye en varios o numerosos sectores dispersos entre los bosques, sino que se concentra de

forma inusual en una sola y extensa superficie que se extiende sobre las vertientes y laderas bajas en los entornos de los pueblos de Acopilco, Chimalpa y Xochiac, estando en absoluto ausente en el interior de la masa forestal. A pesar de que hasta hace pocas décadas la agricultura tuvo gran importancia -con la producción de maíz y frijol entre otros productos, tanto para el consumo local como para el comercio en la capital-, hoy esta superficie se encuentra inmersa en una dinámica rural-urbana caracterizada por la escasa apertura de nuevas tierras de labor y por la acelerada sustitución de las ya existentes por otros tipos de uso, entre los que están los habitacionales y las infraestructuras.

V9. La geofacies de los enclaves perturbados y sin recubrimiento vegetal por fenómenos de gravitatorios y acciones antrópicas en los entornos a los ejes de infraestructura, poblados y tierras de labor abandonadas

La apertura de espacios carentes de recubrimiento vegetal es un proceso muy extendido y que presenta variaciones tanto en el origen como en la forma y los ritmos en que ocurre. Comúnmente se asocia a terrenos de labor que, previamente a ser absorbidos por otro tipo de aprovechamientos, pasan por una transición en la que las tierras permanecen ociosas por periodos de tiempo variados. También se relaciona con la apertura de tajos y acumulación de escombros en laderas de valles y barrancos en los entornos a las vías de infraestructura.

10.2.5.1. La serie del bosque mesófilo de cuauchichie de las laderas bajas del macizo San Miguel.

Uno de los aspectos diferenciadores del conjunto paisajístico de este geosistema V es la tajante separación de los espacios forestales y los que ya han sido absorbidos por la dinámica rural-urbana, por lo que -a diferencia de los otros geosistemas de la subregión natural de montaña- el contacto entre ambos tipos de ambientes se caracteriza por unos fuertes contrastes de funcionalidad que comúnmente implican graves trastornos en los bordes de los bosques. En estas franjas de contacto los ejemplares de pináceas están debilitados y enfermos, por el daño que les supone la contaminación al tiempo que están sujetos a una gran

presión por parte de los aprovechamientos urbanos que tienden a expandirse. Si bien el alto potencial natural característico de las vertientes montañosas permite la regeneración de los ambientes bióticos en las laderas perturbadas, existe ya una importante merma que afecta sobre todo la recuperación de las formaciones más exigentes, que en este caso son las comunidades mesófilas. De esta forma, la dinámica serial del geosistema está definida por una línea de evolución con tendencia progresiva a largo plazo, por la cual se hace francamente difícil completar el ciclo de la regeneración natural.

Todo indica que, a partir de la situación clímax representada por las comunidades muy especializadas y poco tolerantes de los bosques mesófilos de cuauchicie (gaeofacie V₁), la evolución serial conduce directamente -por medio de acciones antropógenas de gran capacidad de transformación- a la aparición de superficies desnudas y desequilibradas (geofacies V₉), las cuales no obstante toman con gran prontitud una línea de evolución regenerativa del suelo y de los mantos vegetales que tiende hacia un retorno de la estabilidad. Así, bajo condiciones de calma o cese de los impactos antrópicos, aparece enseguida un efímero manto de matorral de tepozán (geofacies V₇), en el que ya aparecen los primeros fitoindicadores de ambientes forestales. La aparición y evolución de las comunidades forestales hacia configuraciones cada vez más especializadas ocurre de forma muy paulatina y conforme se establecen las condiciones de frescura, humedad y cobijo originales. Así, la primera configuración forestal que aparece en la línea de tendencia progresiva presenta un importante contenido en elementos latifoliados de encinos y madroños, de alta capacidad de resistencia a ambientes degradados (geofacies V₄), que es seguida de otras que presentan un creciente dominio de los cuauchichies en los sotobosques primero (geofacies V₃) y, luego, en tallas arbóreas (geofacies V₂), hasta finalmente lograr el retorno a la situación inicial, en que el cuauchicie vuelve a ser el elemento dominante de la formación (geofacies V₁).

Hay que señalar además que en el área de este geosistema la regeneración de los bosques ha sido apoyada por medio de acciones del hombre, tendentes a evitar o paliar los daños derivados de sus actividades en la sierra. El resultado más significativo de estas acciones es la aparición de geofacies ligadas a la reforestación (geofacies V₅ y V₆) con especies nativas y externas naturalizadas, a

a partir de las cuales es posible dar continuidad a la progresión vegetal hacia etapas de bosques naturales con latifoliadas (geofacies V₄).

No obstante hay que señalar que, aunque la tendencia dominante es de tipo progresivo, existe el peligro en cualquier etapa de entrar en una línea regresiva debido a la contaminación de los ambientes y al decremento del potencial natural, con lo que las comunidades, sobre todo las geofacies que dan frente al área rural-urbana (geofacies V₃ y V₄), acusan un mayor grado de deterioro. Pero el mayor riesgo hoy mismo es la apertura nuevas superficies desnudas a partir de terrenos de labor abandonados o bien por la tala, ya que, una vez abiertos, estos terrenos, sobre todo si están en el área de contacto entre el bosque y las áreas rurales, se incorporen casi siempre a la mancha habitacional, saliendo del sistema sin posibilidad de retorno.

10.2.6. El geosistema VI, frío y muy húmedo de las laderas bajas de montaña en Las Cruces y del valle del río La Magdalena, con bosque de encinos, aprovechamiento agrario y ocupación habitacional concentrada en pueblos.

Según se dijo al realizar su definición, la configuración geomorfológica es uno de los factores más significativos e influyentes en la dinámica del geosistema VI, que se caracteriza por la gran prominencia y el fuerte declive topográfico de la franja basal del macizo Las Cruces y del valle del río La Magdalena donde se localiza su área. Estos sectores de la vertiente se modelaron sobre los materiales yuxtapuestos de variadas de estructuras volcánicas, con derrames lávicos y cuerpos dómicos (destacan los cerros Dos Ríos y Tengani) localmente recubiertos por cenizas y tobas retrabajadas.

El conjunto de todos estos materiales resultó muy afectado por dislocaciones del SW-NE, lo que llevó a la formación de escarpes de falla complejos y a la diferenciación de franjas en las que el roquedo fue triturado y alterado, quedando muy susceptible a la meteorización por oxidación y descalcificación, facilitando durante el último periodo de formación de la vertiente una intensa actividad modeladora. Esta consistió mayoritariamente en procesos de arroyada concentrada y en desprendimientos y caídas de rocas asistidos por agua sobre las

vertientes rocosas verticalizadas y tectonizadas de mayor debilidad. La morfología heredada de aquel tiempo es de aspecto agreste debido al alto número de cabeceras de barrancos y cicatrices de desprendimiento que accidentan las ladeas en diversos niveles.

El clima de estos sectores relativamente bajos pero de relieve muy accidentado y vigoroso tiene matices que lo asemejan al de la parte alta de la rampa de enlace, aunque continúa siendo -como en el resto de las laderas montañosas- frío y muy lluvioso, con las temperaturas medias anuales entre 11° y 14° C, pudiendo descender a 10° C los valores medios del invierno. El carácter lluvioso está bien marcado, dado que las masas húmedas del noreste ascienden por las laderas de la rampa y topan con el frente montañoso que las obliga a ascender, incrementando el efecto orográfico sobre las precipitaciones, que se sitúan en torno a 1300 mm anuales repartidos la mayor parte entre los meses del verano (en los que llueve en promedio más de 200 mm). Por contra, el tiempo de sequía está aun mal definido, toda vez que los excedentes hídricos generados en el verano son suficientes para paliar las carencias del invierno, generándose excedentes anuales del orden de los 600 a 800 mm.

A estos excedentes internos se suman los que entran al sistema por medio de los cursos superficiales y de las fuentes naturales alimentadas en las laderas altas y en las cumbres de la sierra. La distribución de este recurso está condicionada por el fuerte declive topográfico que favorece las escorrentías superficiales, siendo comparativamente poco representativos los volúmenes de agua que se infiltran para alimentar los mantos del subsuelo. De esta forma el potencial erosivo por arroyada es de los más altos de la vertiente, por lo que se registra una importante actividad geomorfológica concentrada en las cabeceras de los valles y barrancos asentadas en estas vertientes empinadas. Como consecuencia de ello los procesos relacionados con la formación de suelos están se encuentran reducidos al mínimo, siendo el andosol háplico en fase lítica y el leptosol lítico las unidades edáficas más representativas. Sólo los suelos de las superficies alargadas y estrechas que coronan las divisorias entre valles y barrancos están mejor evolucionados y consisten en un mosaico que incluye el andosol háplico y, en menor medida, suelos sistemáticamente rejuvenecidos por el barrido superficial de la arroyada, del tipo del cambisol crómico.

Si bien el nivel altitudinal donde se ubica este sistema natural lo sitúa dentro del piso potencial de la vegetación de transición -caracterizada por bosques mixtos de pináceas y latifoliadas-, la explotación biológica actual manifiesta un sesgo florístico de gran trascendencia, que consiste en la desaparición casi total de las coníferas (que anteriormente pudieron descender a manera de prolongaciones de la flora de la alta montaña), permaneciendo sólo los elementos latifoliados que pertenecientes de forma predominante al género *Quercus*. Este cambio en el contenido florístico de los paisajes no responde a una razón única, pudiendo relacionarse con diferentes hechos siempre vinculados con la entrada del hombre y de sus actividades en esta parte baja de las montañas.

El sistema de ocupación y aprovechamiento antrópico de estos territorios ha sido desde hace siglos eminentemente agrícola, estando enfocado al cultivo permanente de productos anuales mediante riego natural. El poblamiento, no obstante, se ha visto limitado por las condiciones agrestes del relieve y por la relativa lejanía con respecto al área urbanizada, concentrándose la ocupación en los terrenos topográficamente más favorecidos de los fondos de valles amplios, en torno a los ríos Tlalnepantla y Santa Cruz (como los pueblos de Ayucan y Ayotusco) o en rellanos lávicos en posición culminantes (como el pueblo de San Francisco Chimalpa que, con 2900 msnm, es el más alto de la sierra). Todos los núcleos de población son de estructura muy abierta, con cabeceras pequeñas y extensas aureolas de poblamiento muy disperso que aún depende en buena medida de las actividades agrícolas, debiéndose el crecimiento habitacional sobre todo al incremento natural de la población del área.

Sin embargo, la construcción de importantes vías de acceso a la capital y el establecimiento de rutas de transporte público frecuente en las últimas décadas han acelerado sobremanera el incremento poblacional por inmigración en los valles vecinos al área, existiendo el peligro de que la expansión de los pueblos de aquéllas alcance el área de este geosistema y afecte la frágil estabilidad de las empinadas laderas forestales que la constituyen. Pero, sin que esto haya ocurrido, el desequilibrio natural ya es patente y hoy, más que cualquier otra cosa, es de preocupar que los encinares -de los cuales aún se conservan excelentes comunidades en los cerros Tengani y Dos Ríos- manifiesten una progresiva y acelerada degradación debidas a daños directos y a la contaminación de sus ambientes naturales. Algunos intentos de recuperación han

llevado a la reforestación con cipreses con evidente poco éxito en la mayoría de los casos.

La degradación ha alcanzado niveles particularmente alarmantes en el valle del río La Magdalena, de gran belleza paisajística y centro de recreo para los capitalinos, en el cual se acusan gravísimas alteraciones del contenido geoecológico que se traducen objetivamente en importantes desequilibrios de las comunidades forestales, que, enfermas y plagadas, se hallan inmersas en un ciclo acelerado de destrucción. La dinámica regresiva que acusa este valle es una clara muestra, por una parte, de la fragilidad natural intrínseca del sistema natural (que reacciona de forma negativa ante el alto nivel de las intervenciones humanas) y, por otra, de la insuficiencia de su potencial geoecológico para restaurar los daños realizados por el hombre en la laderas, la cubierta biótica de las cuales por tanto está sujeta -bajo las condiciones actuales- a una sistemática destrucción.

VI₁. La geofacies del bosque mixto de encinos (*Quercus spp.*) con sotobosque abierto de senecio barba de San Juan (*Senecio barba-Johannis*) sobre andosol úmbrico en vertientes, laderas de valle y barrancos escasamente intervenidos.

Se caracteriza esta geofacies por contar con uno de los tipos de encinar más diversificados de la vertiente en cuanto al contenido florístico, ya que puede incluir de dos a cuatro especies de encinos, combinando tanto los de afinidad montañosa -*Quercus Bourgaei* y encino laurelillo (*Q. laurina*)- como los de ambientes de transición -encino carrasco (*Q. obtusata*)- y los de gran amplitud ecológica -encino tezahuatl (*Q. mexicana*), encino laurel (*Q. crassipes*), encino quebracho (*Q. rugosa*) y *Q. rugulosa*-. Dado el aspecto variado de la fisionomía de los encinos, incluso dentro de una misma especie, las comunidades son complejas, normalmente de gran talla y con varios estratos arbóreos. En los inventarios y las pirámides VI₁ y VI_{1.1} se observa a los encinos como fitodominantes arbóreos, en masas compactas y de gran amplitud. En contraste, los estratos inferiores son escuetos, por lo que la pirámide adopta la forma de una "paleta". En el arbustivo destaca el predominio de los renuevos del encino que se entremezclan con arbustos de senecio barba de San Juan (*S. barba-*

Johannis) y jaboncillo (*Clethra mexicana*), entre otros que han sido ya señalados por su afinidad con ambientes fríos de montaña.

GEOFACIES: VI:	Bosque de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque abierto de senecio barba de San Juan (<i>Senecio barba-Johannis</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: San Luis Ayucan	
ALTITUD (msnm): 2740	PENDIENTE: 25°	EXPOSICIÓN: Solana (Sureste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Interior de barranco, vertiente al río Tlalnepantla		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Construcciones/Basurero		

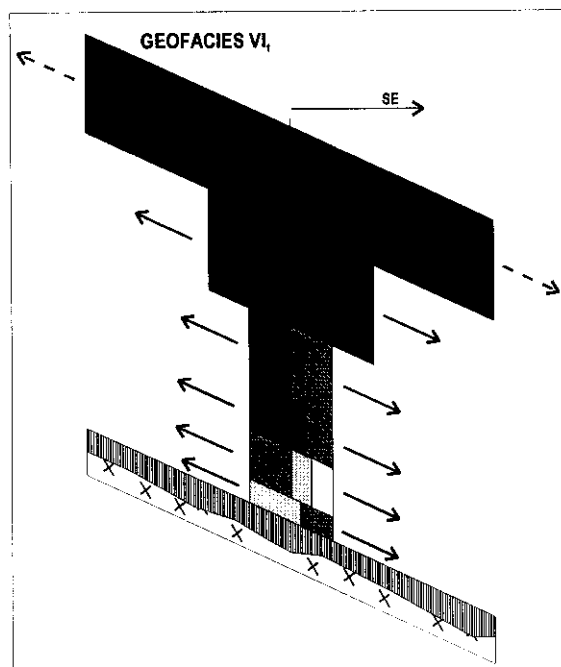
ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Quercus crassipes</i>	3	2
<i>Quercus rugosa</i>	4	2
Abundancia: 5	Dinámica: Moderadamente progresiva	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Quercus Bourgaei</i>	2	2
<i>Quercus crassipes</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Senecio barba-Johannis</i>	+	1
<i>Quercus rugosa</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Clethra mexicana</i>	1	1
<i>Quercus Bourgaei</i>	1	1
<i>Senecio barba-Johannis</i>	1	2
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Senecio barba-Johannis</i>	1	1
<i>Eupatorium sp.</i>	1	2
<i>Arracacia atropurpurea</i>	1	1
<i>Senecio Andreuxii</i>	1	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Musgo	+	2
helecho	+	1
<i>Senecio barba-Johannis</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

Corresponden a esta geofacies de encinar los sectores de vertiente de domos - como los "cerros" Tengani y Dos Ríos- y de laderas o fondos de valles y barrancos que se han mantenido a distancia de los principales centros y franjas

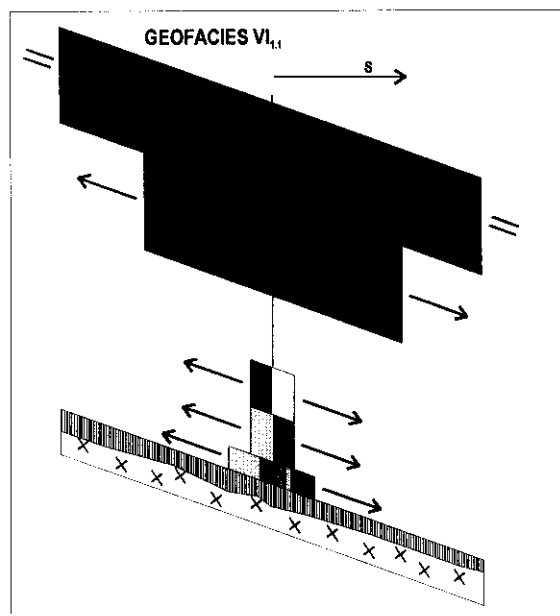
de mayor actividad humana, destacando en todos ellos una actividad geomorfológica moderada y poco influenciada por los antropismos, que se realiza por medio de arroyada concentrada local, de reptaciones y asentamientos muy superficiales que poco afectan a los estratos bajos de los bosques de encinos, mostrándose éstos como comunidades básicamente estables con importantes recubrimientos de hojarasca y mull neutrófilo a ras del suelo.

INV. NÚMERO: VI.1	Bosques de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque abierto de senecio barba de san Juan (<i>Senecio barba-Johannis</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: San Fco. Chimalpa	
ALTITUD (msnm): 2980	PENDIENTE: 22°	EXPOSICIÓN: Solana (Sur)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Barranco afluente del río Canaleja		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Veredas		

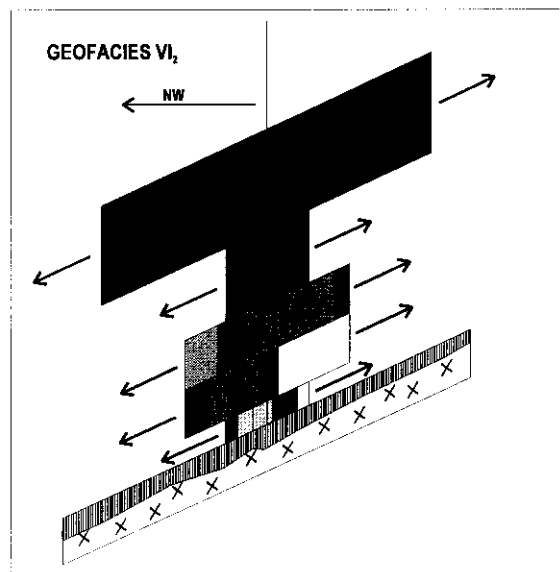
ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
Quercus laurina	5	2
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
Quercus rugosa	3	1
Abundancia: 3	Dinámica: progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Quercus laurina	+	1
Baccharis sp.	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Carrizo	+	2
Garrya laurifolia	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Garrya laurifolia	1	2
Musgo	+	2
helecho	+	2
Baccharis conferta	+	1
Prunus capuli	+	1
Eupatorium sp.	+	1
Arracacia atropurpurea	+	1
Festuca amplissima	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	



- Encinos de amplia distribución: *Quercus crassipes*, *Quercus rugosa*
- Hierbas de amplia distribución: musgo, *Pteridium aquilinum*
- Encinos de montaña: *Quercus Bourgaei*
- Latifoliadas de montaña: *Clethra mexicana*
- Arbustos húmedos: *Senecio andreuxii*, *S. barba-Johannis*
- Hierbas de altura: *Arracacia atropurpurea*
- Otras: *Eupatorium sp.*
- Suelo: Andosol úmbrico
- Substrato rocoso



- Encinos de amplia distribución: *Quercus rugosa*
- Hierbas de amplia distribución: carrizo, *Festuca ampliissima*, helecho, musgo
- Encinos de montaña: *Quercus laurina*
- Latifoliadas de montaña: *Garrya laurifolia*
- Arbustos húmedos: *Baccharis conferta*
- Hierbas de altura: *Arracacia atropurpurea*
- Latifoliadas termófilas: *Prunus capuli*
- Otras: *Baccharis sp.*, *Eupatorium sp.*
- Suelo: andosol úmbrico
- Substrato rocoso



- Encinos de amplia distribución: *Quercus rugosa*
- Arbustos de amplia distribución: *Eupatorium glabraum*
- Hierbas de amplia distribución: musgo
- Encinos de montaña: *Quercus laurina*
- Latifoliadas de montaña: *Garrya laurifolia*
- Arbustos húmedos: *Cunila lythrifolia*, *Senecio barba-Johannis*
- Hierbas de altura: *Bidens ostruthioides*, *Galium uncinulatum*
- Introducidas de repoblación: *Cupressus Lindlyi*
- Introducidas de cultivos: *Avena fatua*
- Otras: *Eupatorium sp.*
- Suelo: andosol úmbrico
- Substrato rocoso

Figura 10.19. Pirámides de vegetación VI₁, VI_{1,1} y VI₂

VI₂. La geofacies del bosque mixto y alterado de encinos (*Quercus spp.*) y cuachichie (*Garrya laurifolia*) con sotobosque cerrado de eupatorium (*Eupatorium spp.*) y *Cunila lythrifolia* sobre andosol úmbrico en vertientes, laderas de valle y barrancos intervenidos.

Los encinares perturbados son el recubrimiento vegetal que caracteriza a esta geofacies, propia de los entornos a los ejes y centros de mayor tránsito donde el subsistema biótico está sujeto a frecuentes impactos, derivados sobre todo de daños a los órganos aéreos de las plantas y del sobrepisoteo del estrato herbáceo y del suelo, que suponen importantes desequilibrios debidos al incremento de la escorrentía y al lavado por pequeñas corrientes de acción superficial. Estos impactos están introduciendo variaciones estructurales de fondo que implican una brusca tendencia regresiva de la cobertura vegetal, en la que se aprecia la misma variedad de especies de encinos que en la geofacies VI₁. Sin embargo, la configuración paisajística difiere apreciablemente de ésta como consecuencia sobre todo de una notable densificación de las formaciones con plantas arbustivas “oportunistas” adaptadas a la degradación ambiental.

GEOFACIES: VI₂	Bosque mixto y alterado de encinos de encinos (<i>Quercus spp.</i>) y cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>) con sotobosque cerrado de eupatorium (<i>Eupatorium spp.</i>) y <i>Cunila lythrifolia</i>		
FECHA: Febrero/97		LUGAR: Parque Nacional de los Dínamos	
ALTITUD (msnm): 2712		PENDIENTE: 30º	EXPOSICIÓN: Umbría (Noroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera media del valle del río La Magdalena			
SUELO: Andosol úmbrico			
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas			
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Veredas			

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Quercus rugosa</i>	5	3
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Quercus laurina</i>	+	1
<i>Garrya laurifolia</i>	+	1
<i>Cupressus Lindlyi</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Cunila lythrifolia</i>	2	2
<i>Eupatorium glabratum</i>	1	2
<i>Senecio barba-Johannis</i>	1	1

<i>Garrya laurifolia</i>	+	1
<i>Cupressus Lindlyi</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Eupatorium sp.</i>	2	2
<i>Cunila lythrifolia</i>	1	2
<i>Garrya laurifolia</i>	+	1
<i>Cupressus Lindlyi</i>	+	1
<i>Senecio barba-Johannis</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Musgo	1	2
<i>Quercus rugosa</i>	+	1
<i>Cupressus Lindlyi</i>	+	1
<i>Eupatorium sp.</i>	+	1
<i>Bidens ostruthioides</i>	+	2
<i>Avena fatua</i>	+	1
<i>Galium uncinulatum</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

Efectivamente, en estas comunidades degradadas de encino las actividades humanas han favorecido la introducción de nuevos elementos arbustivos y herbáceos que amplían el *stock* florístico al tiempo que provocan un ensanchamiento inusual en base de la "pirámide", que no se da en comunidades mejor conservadas de otras geofacies. En el inventario VI₂ se aprecia cómo una serie de plantas típicas de la montaña, de rápido crecimiento y talla arbustiva como *Cunila lythrifolia*, los eupatorium (*Eupatorium spp.*) y el senecio barba de San Juan (*S. barba-Johannis* y *S. roldana*) constituyen la base florística dominante en esta geofacies de encinar con cuauchichie, sin duda inestable y sujeta a procesos de morfodinámica intensos.

VI₃. La geofacies del bosque bajo y muy alterado de encinos (*Quercus Laeta* y *Q. laurina*) con madroño (*Arbutus xalapensis*) sobre secuencias de andosol háplico y cambisol crómico en vertientes, laderas de valle y barrancos intervenidos con fuerte desequilibrio estructural.

Es ésta una geofacies que acusa mayor degradación que la anterior, con la que comparte los ambientes alterados de borde de bosque que dan frente a los pueblos rurales o se ubican en los entornos a las vías de comunicación, por lo

general en el interior de barrancos afectados por intervenciones antrópicas. Como se observa en el inventario y la pirámide VI: la muestra más dramática del deterioro ambiental es la imposibilidad de los encinos para alcanzar tallas arbóreas, por lo que forman bosquetes bajos que acusan un decremento en la biodiversidad (con sólo dos encinos por comunidad), aunque mantienen amplias coberturas en los estratos arbustivo y arborescente. Destaca, además, la aparición del encino prieto (*Quercus laeta*), del garambuyo (*Arctostaphylos arguta*) y del senecio (*S. roldana*) fitoindicadores de ambientes más templados, expuestos y alterados de la base de la sierra.

INV. NÚMERO: VI:	Bosque bajo y muy alterado de encinos (<i>Quercus laeta</i> y <i>Q. laurina</i>) con madroño (<i>Arbutus xalapensis</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: San Luis Ayucan	
ALTITUD (msnm): 2760	PENDIENTE: 16°	EXPOSICIÓN: Solana (Suroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Divisoria de barrancos, vertiente al río Tlalnepantla		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Troncos cortados/Cultivos/Remoción de tierra		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Arbutus xalapensis</i>	1	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Quercus laeta</i>	3	3
<i>Quercus laurina</i>	3	3
<i>Senecio roldana</i>	+	2
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Quercus laeta</i>	3	3
<i>Quercus laurina</i>	3	3
<i>Arctostaphylos arguta</i>	3	3
<i>Cornus excelsa</i>	+	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Musgo	+	2
<i>Eupatorium glabratum</i>	+	1
<i>Salvia fulgens</i>	+	1
<i>Senecio roldana</i>	+	1
Otras herbáceas	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Progresiva	

De gran significado ecológico es igualmente la presencia de los madroños, competidores de los encinos y siempre interpretados como elementos oportunistas que se aprovechan del deterioro ecológico de los encinares. Como es de esperar dado el alto potencial de escorrentía superficial, los suelos cineríticos guardan alto contenido de humedad al tiempo que los lavados superficiales son intensos y merman la evolución del estrato herbáceo y la acumulación de hojarasca; debido a ello los mantos herbáceos son escuetos y se componen de elementos efímeros afines a ambientes húmedos y alterados, como el hilo (*Eupatoriun glabratum*), el tepcuilotl (*Cornus excelsa*) y la *Salvia fulgens*.

VI4. La geofacies del bosque de repoblación con ciprés (*Cupressus Lindlyi*) con sotobosque de tepozán (*Buddleja americana*) sobre luvisol crómico en las laderas bajas de valle del río Tlalnepantla.

Según se explicó en el capítulo de vegetación, las repoblaciones con ciprés (*Cupressus Lindlyi*) que se han practicado con fines ornamentales y para densificar bosques perturbados tuvieron poco éxito y salvo pocas excepciones - entre las que destaca por sus dimensiones un bosque a la entrada del pueblo Ayucan en el valle del río Tlalnepantla, que constituye el reducido ámbito de esta geofacies- la mayoría de estas comunidades han desaparecido. Entre las causas que explican dicho fracaso son fundamentales las condiciones ambientales, ya que según Madrigal (1967) y Bracho (1985), muchas sucumbieron ante la falta de humedad y por exceso de exposición al viento.

A pesar de la importancia ecológica que reviste el bosque de ciprés de Ayucan por su singularidad, no se le ha brindado ningún tipo de protección ante las fuertes perturbaciones antrópica del entorno, manifestándose en el presente como una comunidad enferma, plagada y en franca decadencia. En la pirámide y el inventario VI4 se observa el crecimiento de ejemplares de especies competidoras del ciprés, como los encinos (entre ellos *Q. magnoliaefolia*), el pirul (*Prunus capuli*) y el garambuyo (*Arcostaphylos arguta*), además de numerosos arbustos típicos de ambientes perturbados, como el tepozán (*Buddleja americana*), los eupatorium (*Eupatorium spp.*), el *Cestrum terminale*,

además de diversas enredaderas, gramíneas y leguminosas que forman un denso sotobosque.

INV. NÚMERO: VI4	Bosque de repoblación con ciprés (<i>Cupressus Lindlyi</i>) con sotobosque de tepozán (<i>Buddleja americana</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: San Luis Ayucan	
ALTITUD (msnm): 2640	PENDIENTE: 18°	EXPOSICIÓN: Solana (Suroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera inferior del valle del río Tlalnepantla		
SUELO: Andosol háplico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre piroclastos de textura gravosa o más fina		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Remoción de tierra/Basurero		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
Cupressus Lindlyi	4	2
Abundancia: 4	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBORESCENTE		
Buddleja americana	1	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Cunila lythrifolia	3	3
Cestrum terminale	2	3
Quercus magnoliaefolia	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Eupatorium sp.	2	2
Cestrum terminale	1	2
Prunus capuli	+	1
Leguminosa	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Musgo	2	2
Buddleja americana	+	2
Prunus capuli	+	1
Leguminosa	+	1
Arctostaphylos arguta	+	1
Mentha spicata	+	1
Eupatorium sp.	+	1
Enredadera	+	1
Gramíneas diversas	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	

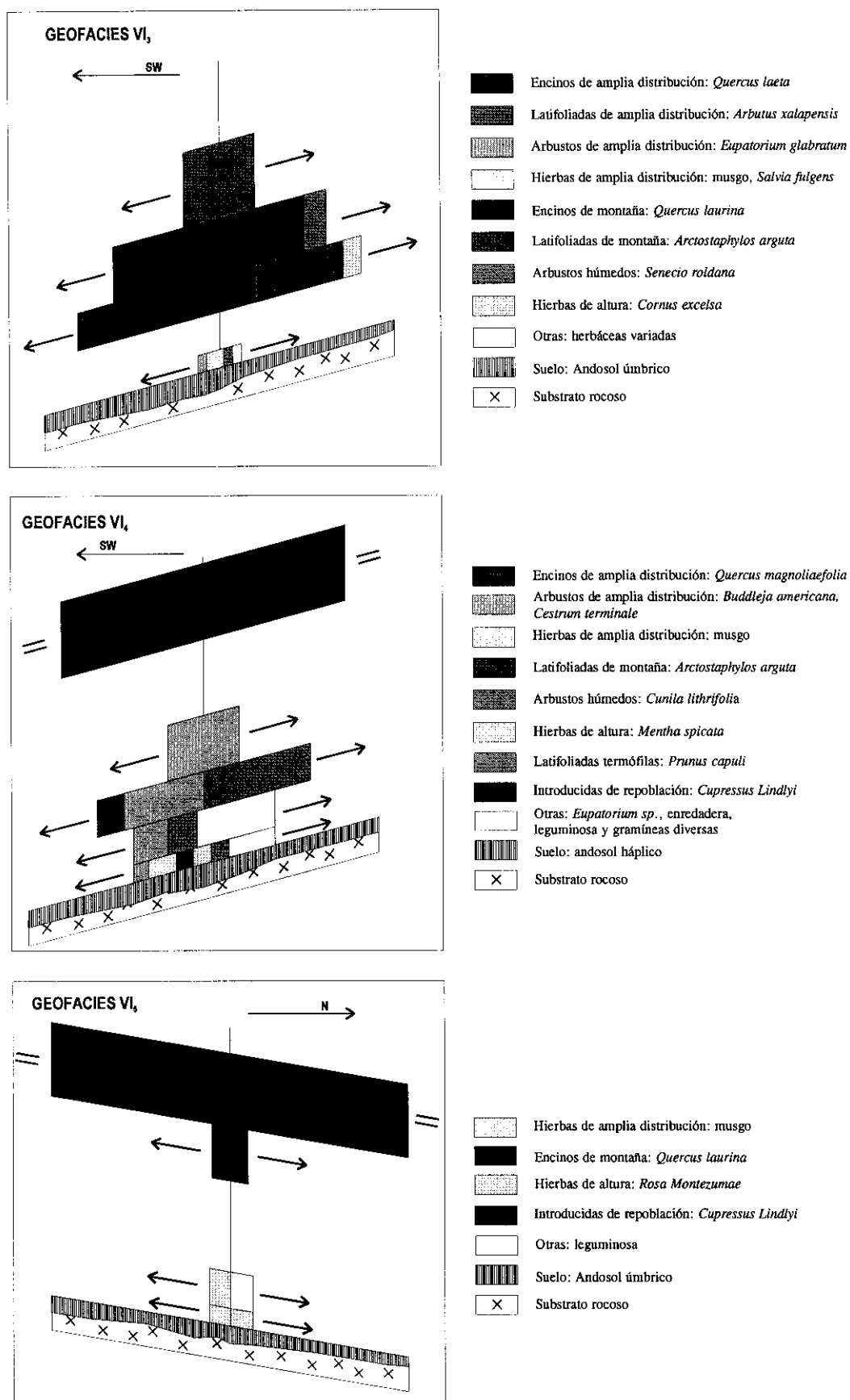


Figura 10.20. Pirámides de vegetación VI₃, VI₄ y VI₅.

VI₅. La geofacies del bosque muy alterado de encinos (*Quercus laeta* y/o *Q. laurina*) con ciprés (*Cupressus Lindlyi*) de repoblación sobre secuencias de andosol úmbrico y háplico en laderas de valles intervenidos con fuerte desequilibrio estructural.

Según se indicó, además de ser introducido en forma de comunidades puras, el ciprés (*Cupressus Lindlyi*) ha sido utilizada en los valles de los ríos Tlalnepantla y La Magdalena para densificar algunos encinares dañados en áreas de fuerte alteración, obteniéndose unos resultados aun más negativos que los comentados en la geofacies anterior, ya que en este caso los factores que han causado la perturbación y el desequilibrio de la vegetación originaria continúan operando y limitan la adaptación de los cipreses y la recuperación de los bosques. En el inventario y la pirámide VI₅ se observa una estructura sencilla con dos estratos arbóreos, uno superior (de más de 15 m), que es de gran amplitud aunque poco diversificado, con pocas especies de encino -que suelen ser el encino prieto (*Quercus laeta*) y el encino laurelillo (*Q. laurina*), ambos de afinidad montañosa-. Por debajo, el estrato arbóreo inferior es muy abierto y se compone de cipreses dispersos protegidos bajo el dosel de las latifoliadas.

Pero donde la degradación del sistema se aprecia de forma más evidente es al nivel de los sotobosques, que están afectados por el maltrato y sobre pisoteo de las plantas, debido a la frecuente presencia de colonos y turistas en el interior de los enclaves forestales. Se componen éstos de un manto muy abierto de plantas de talla herbáceas que han sido señaladas como frecuentes en los bosques de oyamel, como el escaramujo (*Rosa Montezumae*) y los musgos, además de algunas leguminosas. Este escueto manto y la comunidad vegetal en general prestan muy escasa protección a los andosoles que los soportan y que por ello están sujetos a una intensa denudación por medio de lavados superficiales. Puede decirse así que la tendencia general del sistema es degradativa y -bajo el estado actual de fuerte e irreversible actuación humana- se prevén escasas posibilidades de regeneración biótica y restauración de la estabilidad geocológica.

INV. NÚMERO: VI	Bosque muy alterado de encinos (<i>Quercus laeta</i> y/o <i>Q. laurina</i>) con ciprés (<i>Cupressus Lindlyi</i>) de repoblación	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: San Luis Ayucan	
ALTITUD (msnm): 2630	PENDIENTE: 8°	EXPOSICIÓN: Umbria (Norte)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera inferior del valle del río Tlalnepantla		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Veredas/Construcciones dispersas		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
Quercus laurina	5	2
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
Cupressus Lindlyi	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Rosa Montezumae	+	1
Leguminosa	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Rosa Montezumae	+	1
Musgo	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Progresiva	

VI. La geofacies de las superficies de cultivo sobre andosol háplico en laderas cineríticas del interior de cabeceras, valles y barrancos.

Las características más representativa de los aprovechamientos agropecuarios en el área del geosistema VI son sus altos índices de ocupación y de productividad, que, no obstante las adversas condiciones topográficas y geomorfológicas, se encuentran entre los mayores de toda la vertiente. Constituyen una actividad de tipo permanente que se basa en la rotación de cultivos anuales, principalmente de maíz, frijol y avena forrajera, destinados tanto al consumo local como al comercio con la capital. La mayoría de las parcelas se concentra en el interior de formas de relieve deprimidas y favorables para la captación de humedad, situadas fundamentalmente en las cabeceras de los valles y barrancos principales. Esta localización se suma a la intensidad del uso para mantener un desequilibrio ecológico, que se funda en dos tipos de acciones principales: la

deforestación y el levantamiento de suelo, por una parte, y la alteración de los patrones hidrológicos a favor de la escorrentía superficial, por otra.

VI7. La geofacies de las superficies desnudas por fenómenos naturales o por acciones antrópicas en los entornos de los pueblos, ejes de infraestructura y centros de recreo.

Según se ha dicho con anterioridad, este geosistema VI es por como consecuencia de su potencial abiótico uno de los más dinámicos de la vertiente. Los altos gradientes topográficos incentivan un tipo de modelado de fuerte control gravitacional, manifiesto en las numerosas cicatrices de desprendimiento y corredores de detritos que se alzan a distintos niveles de la vertiente. Muchas de estas formas adquieren grandes dimensiones y están activas, por lo que -junto con otras derivadas de la concentración de la arroyada- se aprecian evidentemente desnudas de vegetación. Pero la eliminación de la cubierta biótica de las vertientes responde también a las actividades humanas que se desarrollan en el área y que sobre todo se asocian al movimiento de suelo y de materiales con motivo del emplazamiento de vías de acceso, torres de tendido eléctrico y otros tipos de infraestructuras, construcciones o simplemente al deterioro ocasionado por el tránsito frecuente de gente en las áreas de recreo. Como consecuencia de ambos factores -naturales y antrópicos- las superficies desnudas constituyen una geofacies altamente significativa en las laderas bajas del macizo de Las Cruces y en las vertientes del valle del río La Magdalena.

10.2.6.1 La serie del encinar de montaña

Del análisis integrado de sus geofacies se deduce que la estructura y el funcionamiento del geosistema VI están altamente condicionados por la fragilidad natural de las agrestes vertientes y por el alto grado de perturbación de los entornos naturales por efecto de las actividades humanas. Estas últimas han consistido, desde sus inicios durante la colonia española, en la explotación de la tierra para la realización de una agricultura tradicional, la cual más recientemente se ha consolidado en un sistema intensivo acompañado de una creciente ocupación habitacional, implicando una acelerada sustitución de los

bosques por campos de cultivo y, en su caso, por construcciones para vivienda. Se trata, pues, del único geosistema del ámbito montañoso de la vertiente que ha de definirse como francamente regresivo y tendente a una cada vez mayor "desnaturalización" del medio.

En este marco, el paisaje clímax se corresponde con el encinar de la geofacies VI₁, que posiblemente durante gran parte del tiempo de la colonia española pudo cubrir las vertientes a manera de un manto continuo, pero que hoy se haya únicamente en los enclaves mejor conservados y estables del interior de las masas de vegetación más grandes, con independencia del entorno topográfico y geomorfológico de que se trate. Conforme aumenta el grado de aproximación hacia entornos no forestales se experimenta una mayor alteración del medio y una reducción de los potenciales naturales, que, al ser sentidos por la vegetación, la hacen evolucionar hacia fases cada vez más degradativas. Una primera etapa de la regresión se caracteriza por la entrada de elementos arbustivos "no naturales" que más que enriquecer, diversifican al tiempo que densifican los sotobosques (geofacies VI₂). No es hasta una etapa de más acusada degradación cuando se alcanza una fuerte grado de alteración estructural, manifiesto en encinares achaparrados y empobrecidos en todos sus estratos (geofacies VI₃).

La información obtenida permite afirmar que existe entre las tres geofacies de bosque citadas la posibilidad de retorno a situaciones de mejoría ecológica sobre todo en los enclaves forestales más grandes y alejados de los pueblos rurales; sin embargo la tendencia más generalizada es que los bosques sean absorbidos por la mancha de cultivos (geofacies VI₆) o que sucumban ante la dinámica de modelado natural o a la derivada de otro tipo de obras humanas de gran intensidad que llevan a la apertura de espacios carentes de vegetación (geofacies VI₇). En algunos pocos casos los bosques en proceso de degradación o incluso los espacios desnudos han sido objeto de reforestaciones (geofacies VI₄ y VI₅), mal articuladas en el tiempo y que no han tenido el papel de enclaves de recuperación ecológica; más bien se hallan hoy inmersas en la dinámica regresiva que envuelve al sistema en su conjunto.

10.2.7. El geosistema VII, semifrío y húmedo de la parte superior de la rampa Norte y de los valles altos de Huixquilucan, con bosques mixtos de oyamel, pinos y encinos, aprovechamiento agro-silvo-pastoril y ocupación habitacional concentrada en pueblos.

La organización geosistémica de algunas de las porciones más altas de la rampa de enlace está marcada por una importante participación de fuerzas tanto naturales como antrópicas, de cuya combinación resulta una configuración geosistémica particular. En lo tocante a los aspectos litológico estructurales y tectónicos, las vertientes y laderas de este geosistema tienen en común haber evolucionado sobre potentes acumulaciones de volcanoclastos y en menor grado sobre depósitos detríticos que resultaron de la redistribución de aquellos y que se vinieron a acumular al pie de las montañas en depresiones topográficas -y tectónicas en el caso de los valles de Huixquilucan-. A continuación estos materiales fueron trabajados por procesos de oxidación y descalcificación, con la consecuente formación y acumulación de arcillas de neoformación en superficie. Sobre ellos tuvo gran impacto el modelado bajo climas más áridos del Cuaternario, en que importantes procesos de lavado superficial causaron la redistribución de los materiales más superficiales y consecuentemente el alisamiento de la superficie de la rampa, así como la evolución -durante los episodios torrenciales- de valles disimétricos más encajados sobre la margen derecha. No obstante la trascendencia geomorfológica y ecológica de estos valles, hay que señalar que la densidad de cauces y la profundidad de incisión que éstos alcanzan son bajas con respecto a otros contextos pedemontanos.

La influencia de la topografía sobre el comportamiento de la nubosidad y de las precipitaciones es evidente en estas altas vertientes de la rampa que, desde un punto de vista climático, vienen a representar una prolongación de los ámbitos inmediatos de montaña, aunque con unas condiciones térmicas más favorables debido a la posición inferior en que se encuentran. Se define, pues, su clima como semifrío y lluvioso, con las temperaturas medias anuales entre 11° y 14° C, pudiendo alcanzar hasta los 18° C de media mensual durante el verano; las precipitaciones se mantienen altas y pueden superar los 1200 mm anuales, concentrados en los meses del verano -en que llueve más de 200 mm por mes-, lo que permite en esta temporada la generación de excedentes de agua tan altos

como los propios de las vertientes montañosas -del orden de 600 a 800 mm anuales-, en tanto que la estación de sequía continúa estando mal definida, con déficits anuales que no superan los 50 mm.

Sin embargo, pese a la importancia de los aportes hídricos pluviales, las condiciones poco agrestes del relieve merman la velocidad de los flujos y buena parte del líquido queda contenido en los suelos y mantos alterados del substrato, desde donde fluye con lentitud, o bien se infiltra a través de los sistemas de disyunciones que cortan los roquedos. Otra parte de recurso es extraída para su aprovechamiento en la agricultura o para su exportación por medio de acueductos, con lo que sale del sistema. El modelado debido a los flujos de agua superficiales es en consecuencia moderado y consiste fundamentalmente en lavados difusos, que de forma circunstancial pasan a configurar sistemas de arroyada concentrada y dan lugar a acarcavamientos que se concentran en la margen más abierta de los valles disimétricos, donde también las saturaciones del subsuelo son catalizadoras de deslizamientos, asentamientos del terreno y reptaciones del manto superficial. En contraste y paradójicamente, las laderas más empinadas de la margen izquierda de los valles mantienen una mayor estabilidad, conteniendo la mayor parte de los recursos bióticos de suelos y vegetación forestal. Algunos de los más importantes valles montañosos pierden parte de su carga al entrar en las vertientes tendidas de la rampa, con la consecuente acumulación y la evolución de rellenos aluviales

La formación de suelos ha estado condicionada por los bajos gradientes topográficos que, en principio, otorgan mayor entidad a las percolaciones y, por ende, a los lavados y lixiviaciones, con evolución de suelos profundos de tipo luvisol crómico. Éstos, adaptándose a la configuración del terreno, forman mosaicos con otras unidades edáficas, sobre todo con andosoles y con fluvisol eútrico, que a estas alturas de la vertiente aparece como un elemento característico de algunos fondos de valle. En el plano de la vegetación es de destacar que, no obstante la estrechez de la franja que ocupa este geosistema, su posición intermedia entre las montañas y el resto de la rampa le coloca dentro del piso de transición entre las latifoliadas y las pináceas, confiriéndole un amplio abanico florístico que incluye los tres componentes arbóreos fundamentales de la flora de la sierra (el oyamel, los pinos y los encinos), que conforman asociaciones mixtas y con menos frecuencia monoespecíficas

(generalmente de encino). Pero hay que señalar que el subsistema vegetal se encuentra tan afectado por los desmontes que las superficies forestales están reducidas a pequeños bosquetes que se repliegan dispersos en las vertientes más inaccesibles de las márgenes de ataque de los valles disimétricos.

Por su parte, la intervención del hombre en el sistema natural ha estado tradicionalmente enfocada a los aprovechamientos agro-silvo-pastoriles, bajo los cuales se ha llevado a cabo una sistemática destrucción de los bosques para servir al mercado regional de la madera, al tiempo que se abren espacios para las actividades agropecuarias. Estas últimas se caracterizan por la alta densidad de campos que aún en la actualidad permanecen activos de forma permanente y dedicados a la producción de cultivos anuales y a la cría de ganado. La ocupación del área de este geosistema está, pues, vinculada todavía mayoritariamente con las actividades rurales y se concentra en los pueblos de Jilotzingo, Mazatla, Dos Ríos y Huixquilucan, núcleos tradicionalmente de pequeña extensión y estructura simple.

Sin embargo, en las últimas dos décadas, la influencia expansionista de la urbe ha hecho sentir su impacto sobre el tipo de crecimiento de los pueblos más céntricos -como Huixquilucan-, que están hoy en proceso de incorporarse en la dinámica de intensa transformación de usos del suelo por la que abandonan el tradicional sistema rural para convertirse en polos de atracción de inmigrantes capitalinos. Los valles de Huixquilucan muestran ya la fragilidad de este geosistema ante los primeros embates del crecimiento urbano y que se manifiesta en el desequilibrio morfodinámico de las laderas mejor expuestas que aparecen ya afectadas por acarcavamientos y pequeños *badlands*. Al tiempo que esto ocurre, los recursos hídricos que tradicionalmente se destinaban a la agricultura, son ahora exportados de forma creciente por medio de acueductos, afectando con ello a la estabilidad hidrológica, el caudal de los flujos naturales superficiales y subterráneos y a la dinámica del modelado externo, alteraciones que se transmiten al sistema natural en su conjunto.

VII. La geofacies del bosque mixto de encinos (*Quercus crassipes* y *Q. rugosa*) y pino chino (*P. Leiophylla*) sobre secuencias de andosol úmbrico y vertisol crómico en superficies divisorias y laderas altas de los valles.

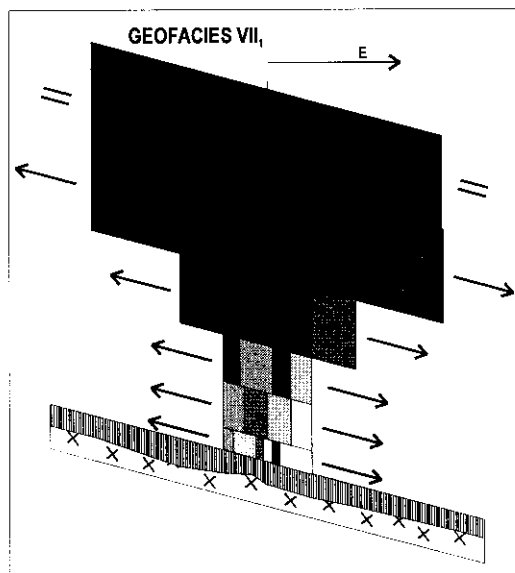
Es muy probable que la combinación de encinos y pinos que se da en este geosistema corresponda con los restos de un antiguo manto de vegetación más o menos continuo, que no obstante resultó posteriormente -tras la entrada intensa de los antropismos en la sierra- talado y que hoy es una geofacies exclusiva de pequeños enclaves aislados. No obstante la presencia del hombre en el área es de suponer que supuso una ventaja para esta comunidad en el sentido de que el pino chino -que contiene pinos serotinos- es fitoindicados de áreas incendiadas, comúnmente debido a acciones intencionadas o por negligencia de los visitantes y pobladores de los bosques.

GEOFACIES: VII	Bosque mixto de encinos (<i>Quercus crassipes</i> y <i>Q. rugosa</i>) y pino chino (<i>P. Leiophylla</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Santa María Mazatla	
ALTITUD (msnm): 2660	PENDIENTE: 18°	EXPOSICIÓN: Solana (Este)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera de barranco, vertiente al río Xinté		
SUELO: Vertisol crómico		
LITOLOGÍA: Piroclastos de textura fina		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Terrenos abandonados por erosión del suelo		

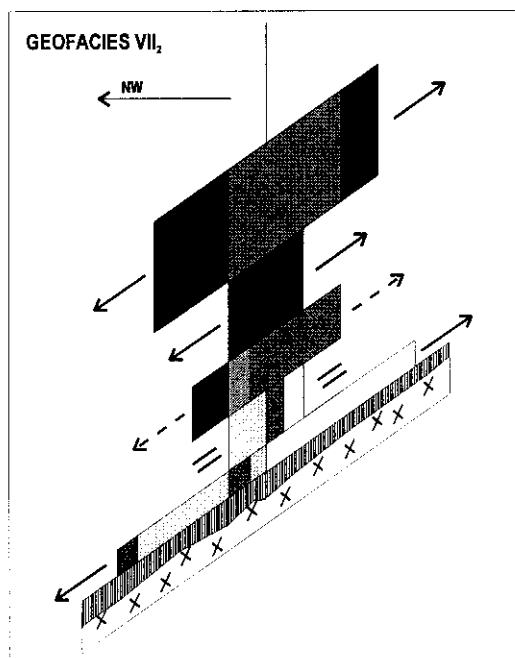
ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Pinus Leiophylla</i>	4	1
<i>Quercus crassipes</i>	2	1
Abundancia: 4	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Quercus crassipes</i>	3	1
<i>Quercus rugosa</i>	1	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Quercus magnoliaefolia</i>	2	1
<i>Arbutus xalapensis</i>	1	1
<i>Quercus crassipes</i>	1	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Quercus rugulosa</i>	1	1
<i>Quercus conglomerata</i>	1	1
<i>Eupatorium glabratum</i>	+	1

<i>Baccharis ramulosa</i>	1	1
<i>Baccharis glutinosa</i>	1	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Eupatorium glabratum</i>	1	2
<i>Baccharis ramulosa</i>	+	1
<i>Senecio barba-Johannis</i>	1	1
Leguminosa	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Musgo	1	2
<i>Eupatorium glabratum</i>	1	2
<i>Senecio barba-Johannis</i>	+	1
<i>Senecio roldana</i>	+	1
Leguminosa	+	1
<i>Quercus sp.</i>	+	1
<i>Festuca sp.</i>	+	1
<i>Phaseolus sp.</i>	+	1
<i>Potentilla heterophylla</i>	+	1
<i>Agave ferox</i>	+	1
Gramínea tipo avena	+	1
Leguminosa	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

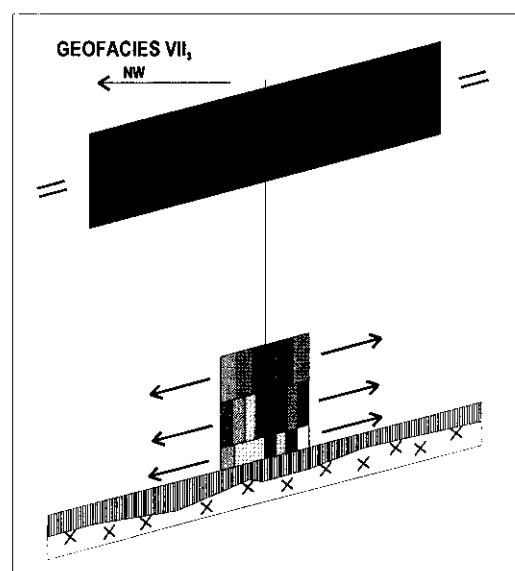
A pesar de que el *stock* florístico incluye mayoritariamente elementos de gran amplitud ecológica, se trata de comunidades vegetales muy exigentes y por ende frágiles, en cuanto que incluyen como elemento definitorio la presencia del Pino lacio (*P. Leiophylla*) que está mejor identificado con ambientes de montaña. Según se muestra en la pirámide VII₁, se trata de bosques altos y complejos que cuentan con dos estratos arbóreos que mezclan al pino lacio con una amplia variedad de encinos como el encino laurel (*Quercus crassipes*), encino quebracho (*Q. rugosa*), encino nopis (*Q. magnoliaefolia*) y *Q. rugulosa* y *Q. conglomerata*, además de algunos madroños dispersos en el arborescente. Los sotobosques son similares a los de otras comunidades poco perturbadas, es decir, de escasa cobertura pero enriquecidos con más de una decena de herbáceas y arbustos entre los que destacan por su dominio el hilo (*Eupatorium glabratum*) y la escobilla (*Baccharis ramulosa*) y que se constituyen como un dosel fundamental para la estabilidad de las laderas empinadas de los valles.



- Pinos de amplia distribución: *Pinus Leiophylla*
- Encinos de amplia distribución: *Quercus crassipes*, *Q. rugosa*, *Q. magnoliaefolia*
- Latifoliadas de amplia distribución: *Arbutus xalapensis*
- Arbustos de amplia distribución: *Baccharis glutinosa*, *Eupatorium glabratum*
- Hierbas de amplia distribución: *Festuca sp.*, musgo, *Potentilla heterophylla*
- Encinos termófilos: *Quercus conglomerata*
- Arbustos húmedos: *Senecio barba-Johannis*
- Arbustos subhúmedos: *Baccharis ramulosa*
- Hierbas subhúmedas: *Phaseolus sp.*
- Introducidas de cultivos: *Agave ferox*
- Otras: gramínea, leguminosas variadas, *Quercus sp.*
- Suelo: vertisol crómico
- × Substrato rocoso



- Encinos de amplia distribución: *Quercus crassipes*, *Quercus mexicana*
- Latifoliadas de amplia distribución: *Arbutus xalapensis*
- Arbustos de amplia distribución: *Malvastrum lacteum*
- Hierbas de amplia distribución: musgo, *Muhlenbergia macroura*, *Salvia hyptis*, *Cirsium ehrenbergii*, *Fragaria mexicana*
- Oyamel: *Abies religiosa*
- Latifoliadas de montaña: *Garrya laurifolia*
- Arbustos húmedos: *Acaena elongata*, *Baccharis conferta*
- Hierbas de altura: *Alchemilla sp.*
- Encinos termófilos: *Quercus Disophylla*
- Otras: *Quercus sp.*, gramíneas diversas
- Suelo: andosol úmbrico
- × Substrato rocoso



- Latifoliadas de amplia distribución: *Arbutus glandulosa*
- Arbustos de amplia distribución: *Eupatorium glabratum*, *Stevia salicifolia*, *Senecio platanifolius*
- Hierbas de amplia distribución: musgo, *Geranium mexicanum*, *Senecio actinella*, *Stevia monardaefolia*
- Oyamel: *Abies religiosa*
- Latifoliadas de montaña: *Garrya laurifolia*, *Arctostaphylos arguta*
- Arbustos húmedos: *Baccharis conferta*
- Hierbas de altura: *Alchemilla sp.*
- Encinos termófilos: *Quercus lanceolata*
- Latifoliadas termófilas: *Prunus capuli*
- Otras: gramíneas diversas
- Suelo: andosol úmbrico
- × Substrato rocoso

Figura 10.22. Pirámides de vegetación VII₁ , VII₂ y VII₃

VII₂. La geofacies del bosque mixto de oyamel (*Abies religiosa*), encinos (*Quercus spp.*) y cuachichie (*Garrya laurifolia*), con sotobosque de escobilla (*Baccharis conferta*) sobre fluvisol eútrico en enclaves resguardados de los fondos de valles y barrancos.

Los bosques mixtos de oyamel y encinos que dominan en las divisorias y valles montañosos del geosistema IV logran penetrar en este geosistema VII a través de prolongaciones que discurren en el fondo húmedo y abrigado del fondo de los valles disimétricos. No obstante que el sistema de usos del suelo en estas partes altas de la rampa se define por la escasa ocupación, los fondos de valle acusan una cierta perturbación que se manifiesta en la dificultad de las comunidades para alcanzar el alto grado de desarrollo que tienen en “las montañas”. Así, en la pirámide VII₂ se observa para esta geofacies bosques no muy altos -que no superan los 15 m- y poco tupidos, aunque son de estructura compleja con el estrato arbóreo inferior ocupado en codominancia por el oyamel (*Abies religiosa*), los encinos -entre los que dominan el encino laurel (*Quercus crassipes*), encino tezahuatl (*Q. mexicana*) y *Q. disophylla*- y el cuachichie (*Garrya laurifolia*).

En lo tocante a los sotobosques, reflejan las condiciones de gran humedad característica de los bosques de oyamel, siendo más bien escuetos en el arbustivo y muy amplios en el herbáceo, contando con una cuantiosa variedad de plantas de afinidad montañosa y entre las que destacan por su dominio las escobillas (*Baccharis conferta*), la pegarropa (*Acaena elongata*), el *malvastrum lacteum*, además de musgo y helechos. Los madroños dispersos en el herbáceo. En fin, se trata de una geofacies que acusa un alto grado de estabilidad aunque en situación de grave peligro de reducir su superficie ante el aún lento pero constante incremento de los índices de contaminación y alteración de los valles del sistema.

GEOFACIES: VII	Bosque mixto de oyamel (<i>Abies religiosa</i>), encinos (<i>Quercus spp.</i>) y cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>), con sotobosque de escobilla (<i>Baccharis conferta</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Santa María Mazatla	
ALTITUD (msnm): 2827	PENDIENTE: 45°	EXPOSICIÓN: Umbría (Noroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera de valle vertiente al río Navarrete		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
Abies religiosa	3	2
Garrya laurifolia	1	1
Quercus crassipes	2	2
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
Quercus dysophylla	1	2
Garrya laurifolia	1	1
Quercus crassipes	1	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Baccharis conferta	2	4
Malvastrum lacteum	+	2
Quercus mexicana	1	1
Abundancia: 2	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Baccharis conferta	1	2
Leguminosa	+	1
Salvia hyptis	+	2
Muhlenbergia macroura	1	1
Abundancia: 1	Dinámica: Estable	
ESTRATO HERBÁCEO		
Gramínea de hoja fina	3	4
Gramínea de hoja plana	1	2
Cirsium ehrenbergii	+	1
Fragaria mexicana	+	1
Arbutus xalapensis	+	1
Quercus sp.	1	1
Acaena elongata	1	1
Helecho bajo	+	1
Musgo	3	3
Alchemilla sp.	1	2
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	

VII3. La geofacies del bosque de encino manzanillo (*Quercus lanceolata*) sobre andosol úmbrico en la parte baja de las laderas cortas de los valles y otros enclaves resguardados.

Refiere esta geofacies los sectores húmedos y abrigados de la parte baja de los valles, sitios estos de topografía empinada y por tanto poco afectados por los antropismos. Las comunidades vegetales que colonizan estas partes bajas de los valles son básicamente encinares de gran talla pero de estructura muy sencilla - similares a los descritos en otros sistemas de la parte alta de la vertiente (geosistemas IV y VI)-, con una o más especies de encinos, entre las que destaca por su frecuencia el encino manzanillo (*Quercus lanceolata*), típico de ambientes de transición montaña-rampa. Por debajo del dosel de encinares los demás estratos tienen son poco amplios y se carece por completo de otros niveles arbóreos, lo que da a la pirámide de vegetación una forma típica de “sombrilla”

GEOFACIES: VII3	Bosque de encino manzanillo (<i>Quercus lanceolata</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Santa María Mazatla	
ALTITUD (msnm): 2860	PENDIENTE: 15°	EXPOSICIÓN: Umbria (Noroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera del río Navarrete		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Veredas		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Quercus lanceolata</i>	4	2
Abundancia: 4	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Quercus lanceolata</i>	1	1
<i>Eupatorium glabratum</i>	1	1
<i>Arctostaphylos arguta</i>	1	1
<i>Prunus capuli</i>	1	1
<i>Garrya laurifolia</i>	1	1
<i>Abies religiosa</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Arbutus glandulosa</i>	+	1
<i>Garrya laurifolia</i>	1	2
<i>Arctostaphylos arguta</i>	1	2
<i>Quercus lanceolata</i>	1	2
<i>Stevia salicifolia</i>	+	1
<i>Baccharis conferta</i>	+	1
<i>Stevia monardaefolia</i>	+	1

Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Arctostaphylos arguta</i>	+	1
<i>Quercus lanceolata</i>	+	1
Gramíneas diversas	+	1
Musgo	+	1
<i>Alchemilla sp.</i>	+	1
<i>Geranium mexicanum</i>	+	1
<i>Senecio actinella</i>	+	1
<i>Senecio platanifolius</i>	+	1
<i>Stevia salicifolia</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

Los sotobosques no difieren tampoco mucho de los encinares bien conservados de montaña y se distinguen en que conforman mantos abiertos aunque ricamente biodiversificados con casi una veintena de especies y sin haber fitodominancia de alguna de ellas. Se trata de plantas de gran amplitud ecológica, destacando la presencia de algunas especies de forma de vida arbórea y características de ambientes alterados como el madroño (*Arbutus xalapensis*), el capulín (*Prunus capuli*) y el garmbuyo (*Arctostaphylos arguta*). Es de mencionar también la presencia de ejemplares dispersos de oyamel (*Abies religiosa*) que se justifican por el contacto con la vecina geofacies VII₂. Se trata, en fin, de una geofacies estable y en concordancia con los ambientes poco alterados que no afectan en lo fundamental la edafogénesis y la evolución de la carpeta vegetal.

VII₄. La geofacies del bosque de encinos (*Quercus sp.*) con cuachichie (*Garrya laurifolia*) y/o capulín (*Prunus capuli*), con sotobosque de cuachichie, sobre secuencias de andosol úmbrico y vertisol eútrico en las divisorias y parte alta de las laderas cortas de umbría.

Refiere esta geofacies a los encinares próximos a los centros de alto grado de ocupación, lo que facilita el acceso del hombre al interior de las comunidades y les hace objeto de mayores y más frecuentes intervenciones dañinas, destacándose en la actualidad por exhibir mayor grado de perturbación antropógena que los encinares de la geofacies VII₃. En los inventarios y las pirámides de vegetación VII₄ y VII_{4.1} se recogen dos variantes (geotopos) de esta geofacies en las que se destaca por una parte los contrastes fisionómicos característicos de los encinares mexicanos y por otra, la estructura básica de la

comunidad, consistente en bosques altos y de estructura compleja que tienen como fitodominantes arbóreos a diversas especies de encinos de gran amplitud ecológica -como el encino laurel (*Quercus crassipes*), el encino laurelillo (*Q. laurina*) y el encino quebracho (*Q. rugosa*). En el arbóreo inferior y el arborescente los encinos se mezclan con otros típicos acompañantes de los encinares y que son indicadores -el cuachichie (*Garrya laurifolia*)- de las buenas condiciones de humedad y resguardo y -el madroño (*Arbutus xalapensis*)- de la degradación de que son objeto.

GEOFACIES: VII ₄	Bosque de encinos (<i>Quercus sp.</i>) con cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>) y/o capulín (<i>Prunus capuli</i>), con sotobosque de cuachichie	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Santa Ana Jilotzingo	
ALTITUD (msnm): 2725	PENDIENTE: 6°	EXPOSICIÓN: Umbría (Noroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Superficie culminante de loma		
SUELO: Vertisol crómico		
LITOLOGÍA: Piroclastos de textura fina		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Terrenos sin uso aparente/Construcción		

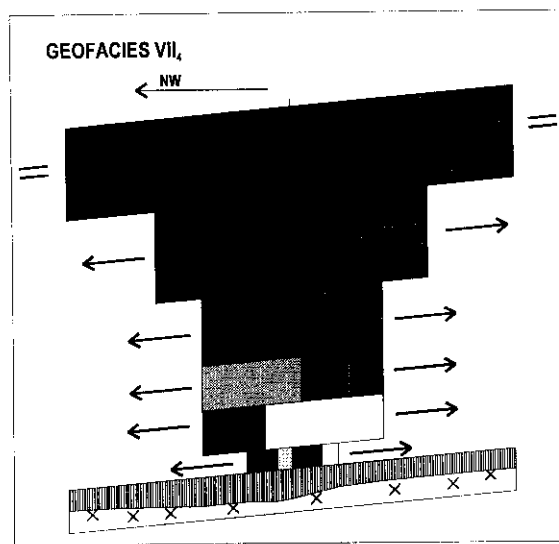
ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
Quercus rugosa	3	2
Quercus crassipes	2	2
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
Quercus rugosa	2	1
Garrya laurifolia	1	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
Garrya laurifolia	2	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Eupatorium glabratum	1	1
Agave ferox	+	1
Garrya laurifolia	1	2
Buddleja cordata	1	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Leguminosa	2	1
Quercus rugosa	+	1
Garrya laurifolia	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Garrya laurifolia	+	2
Musgo	+	2
Leguminosa	+	1
Quercus crassipes	+	1

<i>Quercus rugosa</i>	+	1
<i>Arctostaphylos arguta</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

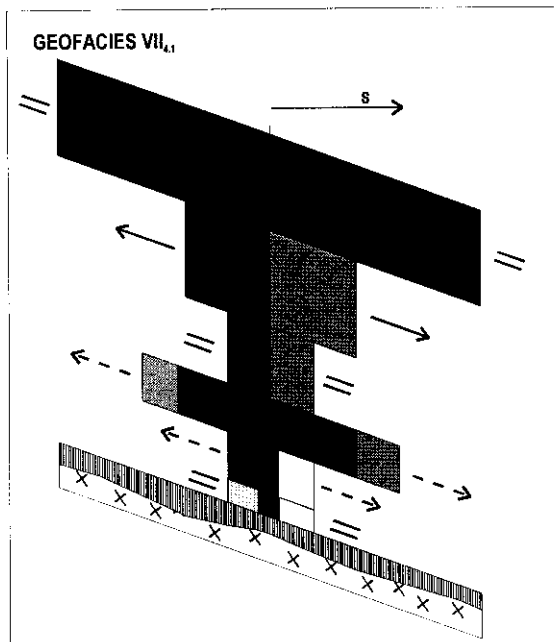
GEOFACIES: VII _{4.1}	Bosque de encinos (<i>Quercus sp.</i>) con cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>) y/o capulín (<i>Prunus capuli</i>), con sotobosque de cuachichie	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Santa Ana Jilotzingo	
ALTITUD (msnm): 2780	PENDIENTE: 20°	EXPOSICIÓN: Solana (Sur)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera inferior de barranco, vertiente al río Xinté		
SUELO: Luvisol crómico		
LITOLOGÍA: Piroclastos de textura gravosa o más fina		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Construcciones		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
Quercus laurina	4	2
Quercus crassipes	3	2
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
Prunus capuli	1	2
Quercus laurina	1	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
Garrya laurifolia	+	1
Viburnum stellatum	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Garrya laurifolia	3	2
Viburnum stellatum	1	2
Cestrum anagyris	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Leguminosa	+	1
Quercus laurina	1	2
Abundancia: 1	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Musgo	1	3
Gramínea tipo avena	+	2
Smilax moranensis	+	1
Quercus laurina	+	1
Adiantum andicola	+	2
helecho	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Estable	

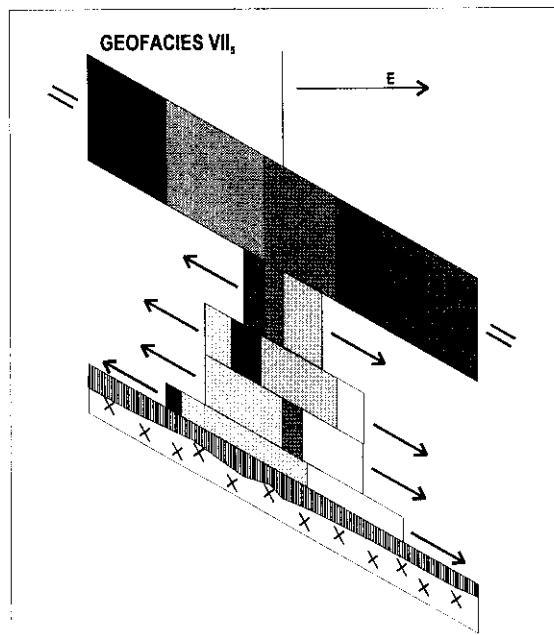
Los sotobosques, por su parte, difieren grandemente de otros encinares, toda vez que debido a las perturbaciones se ha favorecido la aparición y reproducción



- Encinos de amplia distribución: *Quercus crassipes*, *Q. rugosa*
- Arbustos de amplia distribución: *Buddleja cordata*, *Eupatorium glabratum*
- Hierbas de amplia distribución: musgo
- Latifoliadas de montaña: *Garrya laurifolia*, *Arcostaphylos arguta*
- Introducidas de cultivos: *Agave ferox*
- Otras: leguminosa
- Suelo: vertisol crómico
- Substrato rocoso



- Encinos de amplia distribución: *Quercus crassipes*
- Arbustos de amplia distribución: *Cestrum anagyris*
- Hierbas de amplia distribución: *Adiantum andicola*, *Smilax moranensis*, *Pteridium aquilinum*
- Encinos de montaña: *Quercus laurina*
- Latifoliadas de montaña: *Garrya laurifolia*
- Latifoliadas termófilas: *Prunus capuli*, *Viburnum stellatum*
- Otras: gramínea, leguminosa, musgo
- Suelo: luvisol crómico
- Substrato rocoso



- Encinos de amplia distribución: *Quercus rugosa*, *Q. rugulosa*
- Latifoliadas de amplia distribución: *Arbutus xalapensis*
- Arbustos de amplia distribución: *Buddleja americana*
- Hierbas de amplia distribución: *Adiantum andicola*, carrizo, *Fragaria mexicana*, helecho, musgo
- Latifoliadas de montaña: *Garrya laurifolia*
- Latifoliadas termófilas: *Prunus capuli*
- Encinos xerófilos: *Quercus mexicana*
- Arbustos subhúmedos: *Montanoa frutescens*
- Otras: *Eupatorium sp.*, Gramínea, leguminosa
- Suelo: andosol háplico
- Substrato rocoso

Figura 10.23. Pirámides de vegetación VII₄, VII_{4,1} y VII₅.

silvestre de malezas y otras plantas asociadas a ambientes perturbados, al tiempo que se reduce la biodiversidad a menos de diez especies y donde algunas de ellas se convierten en importantes competidoras como el mismo cuachichie, el tepozán (*Buddleja americana*) y el hilo (*Eupatorium glabratum*) y el garambuyo (*Arctostaphylos arguta*). Pero hay que dejar claro que la mayoría de estos elementos son “oportunistas” de la degradación y distinguir de esta geofacies el alto potencial de los suelos y la definición de una línea de evolución francamente progresiva, en la que premia una pronta regeneración de los encinos y de los cuachichies.

VII₅. La geofacies del bosque muy alterado de encinos (*Quercus sp.*), tepozán (*Buddleja americana*) y capulín (*Prunus capuli*), con sotobosque de margalagua (*Montanoa frutescens*) y eupatorium (*Eupatorium sp.*) sobre secuencias de andosoles y vertisol crómico en laderas internas de barrancos intervenidos.

Los encinares muy alterados son poco frecuentes aunque de gran significado ecológico, ya que constituyen la vegetación “tipo” de algunos barrancos inestables por naturaleza y que además están sujetos a importantes acciones contaminantes y de degradación en general. Se distribuyen en las afueras de los pueblos rurales más dinámicos (Huixquilucan y Zacamulpa), en los entornos a basureros o escombreras. En la pirámide de vegetación VII₅ llama la atención el bajo porte de la comunidad y la gran amplitud del listado florístico que incluye casi veinte especies, aunque casi todas ellas han sido ya anteriormente relacionadas con ambientes alterados en bosques de encino y de oyamel-encino. El denso y diversificado dosel arbóreo incluye en codominancia diversas latifoliadas de encinos de gran amplitud ecológica -como el encino tezahuatl (*Quercus mexicana*), el encino quebracho (*Q. rugosa*) y *Q. rugulosa*-, tepozán (*Buddleja americana*), capulín (*Prunus capuli*) y madroño (*Arbutus xalapensis*).

GEOFACIES: VII ₅	Bosque muy alterado de encinos (<i>Quercus sp.</i>), tepozán (<i>Buddleja americana</i>) y capulín (<i>Prunus capuli</i>), con sotobosque de margalagua (<i>Montanoa frutescens</i>) y eupatorium (<i>Eupatorium sp.</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Huixquilucan	
ALTITUD (msnm): 2673	PENDIENTE: 40°	EXPOSICIÓN: Solana (Este)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Interior de barranco, vertiente al río Aramitza		
SUELO: Andosol háplico		
LITOLOGÍA: Piroclastos de textura gruesa		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Movimiento de tierra/Desmontes/Caminos/ Construcciones dispersas		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
Quercus mexicana	3	1
Buddleja americana	2	1
Quercus rugosa	1	1
Quercus rugulosa	1	1
Prunus capuli	1	1
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBORESCENTE		
Montanoa frutescens	1	1
Prunus capuli	+	1
Arbutus xalapensis	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Montanoa frutescens	2	3
Garrya laurifolia	+	1
Eupatorium sp.	+	1
Carrizo	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Carrizo	2	2
Eupatorium sp.	1	2
Prunus capuli	+	1
Leguminosa	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Gramínea tipo avena	2	2
Adiantum andicola	1	3
helecho	1	2
Eupatorium sp.	1	1
Musgo	+	2
Fragaria mexicana	+	2
Quercus rugosa	+	1
Leguminosa	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	

En el interior de los barrancos el ambiente es húmedo y se registra una importante acumulación de agua -en los suelos cineríticos o cambisoles- que

permiten la entrada en el *stock* florístico del sotobosque a algunas fitoindicadoras subacuáticas o de galería resistentes a la contaminación del medio -como el cuachichie (*Garrya laurifolia*), la magalagua (*Montanoa frutescens*), el eupatorium (*Eupatorium sp.*), el carrizo y los helechos, entre otros- que siempre se hayan abrigados bajo el dosel de los árboles. Además, destaca como un aspecto particular el dominio de algunas pocas plantas como la margalagua y el eupatorium que son fuertes competidoras. Y no obstante el sotobosque en su conjunto presenta una tendencia progresiva, los encinos y demás especies arbóreas presentan un desequilibrio evidente que les impide regenerarse, por lo que resulta claro que esta geofacies en la que, además, continúan operando los procesos antrópicos causantes de del desequilibrio, está sujeta a un tipo de evolución regresiva a largo plazo.

VII₆. La geofacies del bosque de tepozán (*Buddleja americana*) con cuachichie (*Garrya laurifolia*) sobre antrosol úrbico en laderas internas de barrancos intervenidos con fuerte desequilibrio estructural.

Corresponde esta geofacies con los pequeños barrancos o sectores de valle que exhiben niveles particularmente altos de perturbación que por lo común se deben a acciones bruscas como son el levantamiento del suelo y la acumulación de escombros que evidentemente implican fuertes decrementos del potencial geocológico. La recuperación de estas tierras inicia por medio de comunidades poco diversificadas y constituidas en su mayor parte por plantas pioneras y tolerantes al deterioro. De entre ellas destaca el tepozán (*Buddleja americana*), especie con significado doble: indicadora del deterioro ambiental en encinares (como en la geofacies VII₅) o bien, en forma de matorral señala una fase inicial de recuperación, como en este caso. En la pirámide de vegetación VII₆ llama la atención la gran talla que adopta la techumbre de los tepozanes, que si bien dispersos, forman en el interior de los barrancos un ambiente úmbrio y cobijado, con gran capacidad de retener humedad en los suelos cineríticos y cambisoles, por lo que admiten dentro del listado florístico plantas fitoindicadoras como el cuachichie (*Garrya laurifolia*), que en mantos de gran cobertura es el competidor más acérrimo del sotobosque.

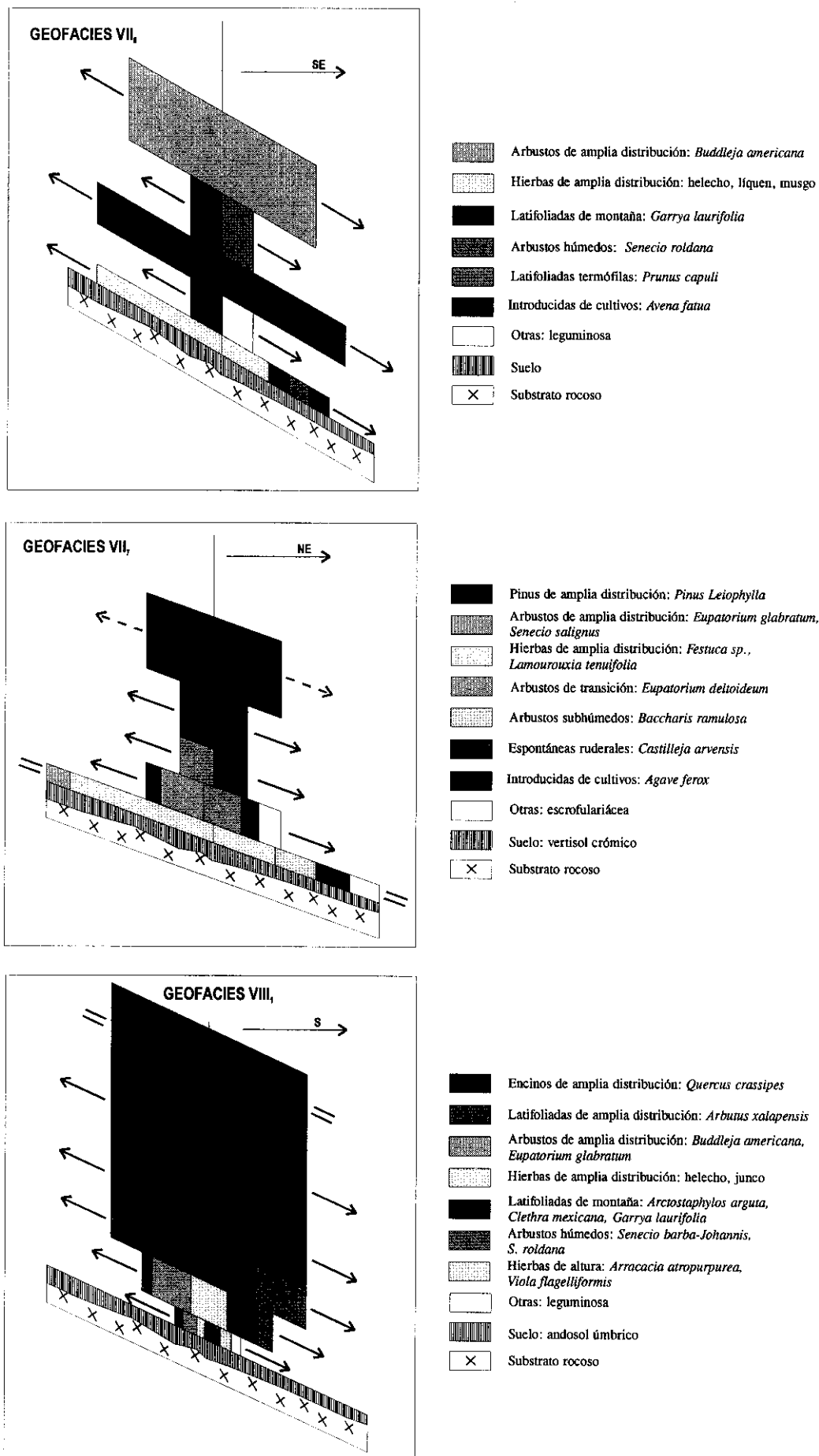


Figura 10.24. Pirámides de vegetación VII₆, VII₇ y VIII₁.

En el estrato herbáceo predominan las plantas de gran amplitud geocológica y sobresalen algunas especializadas en ambientes húmedos, ruderales o introducidas por el hombre. Forma en conjunto forman un manto casi continuo pero prácticamente rasante que resulta insuficiente para proteger a los suelos que sistemáticamente son barridos por procesos de lavado intenso. Pero el aspecto más preocupante es que dado el emplazamiento de los barrancos en el interior o las proximidades de los núcleos de población más dinámicos, las fuerzas que generaron el deterioro ambiental (contaminación por vertido de basura y demás residuos contaminantes) y la activación de los procesos erosivos continúan casi siempre vigentes y operan con mayor intensidad, por lo que la tendencia evolutiva es hacia una pronta expansión y luego eliminación de la geofacies.

GEOFACIES: VII ₆	Bosque de tepozán (<i>Buddleja americana</i>) con cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Zacamulpa	
ALTITUD (msnm): 2675	PENDIENTE: 35°	EXPOSICIÓN: Solana (Sureste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera inferior del valle del río Borracho		
SUELO: Regosol eútrico		
LITOLOGÍA: Piroclastos de textura gruesa		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Movimiento de tierra/Basura/Caminos/Desmontes		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Buddleja americana</i>	3	2
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Garrya laurifolia</i>	+	1
<i>Prunus capuli</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Garrya laurifolia</i>	4	4
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Garrya laurifolia</i>	+	1
Leguminosa	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Musgo	5	4
líquen	1	4
<i>Avena fatua</i>	1	2
<i>Garrya laurifolia</i>	+	1
<i>Senecio roldana</i>	+	1
helecho	+	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	

VII₇. La geofacies del zacatal de *Festuca sp.* con pino chino (*Pinus Leiophylla*) y maguey (*Agave ferox*) de repoblación sobre secuencias de vertisol crómico y antrosol úrbico en laderas internas de barrancos intervenidos con fuerte desequilibrio estructural.

Es la geofacies de cobertura natural menos evolucionada, que coloniza los terrenos abandonados de los que fuesen antiguos campos de cultivo. Se presentan con mayor incidencia en los bordes de algunos pueblos muy dinámicos y en creciente expansión como Huxquilucan y Zacamulpa, estando muy relacionadas con otras geofacies de fuerte alteración (VII₅ y VII₆). Al igual que aquellas son geofacies de distribución puntual y poco frecuentes aunque de gran significado ecológico, ya que por lo general coinciden con laderas sobre tobas muy intemperizadas y deleznales que ya han sido presa de los antropismos con consecuencias nefastas y evidentes. En principio, estos campos han estado o están afectados por acarcavamientos y ahora, una vez abandonados, han sido objeto de prácticas de recuperación por medio de repoblaciones.

La comunidad tipo (pirámide de vegetación VII₇) consiste en un zacatal de *Festuca sp.*, enriquecido con una decena de plantas “oportunistas” de la perturbación -como el hilo (*Eupatorium glabratum*)-, ruderales -como *Castilleja arvensis*- y pioneras de ambientes que acusan sequedad y contaminación -como la escobilla (*Baccharis ramulosa*) y el xolochichitl (*Eupatorium deltoideum*)- entre otras. Y salpicadas en baja densidad se levantan plantas arbustivas y arbóreas de repoblación con pinos que suelen ser de la variedad del pino chino (*Pinus Leiophylla*), ciprés (*Cupressus Lindlyi*) y maguey (*Agave ferox*), que con excepción de este último están comúnmente mal adaptados a la inestabilidad de las laderas. Sin embargo, este tipo de comunidades no suele tener éxito y las especies introducidas acaban sucumbiendo bajo el avance de los acarcavamientos, siendo por tanto una geofacies de recuperación que no obstante suele funcionar como antesala a situaciones de mayor degradación.

GEOFACIES: VII:	Zacatal de <i>Festuca sp.</i> con pino chino (<i>Pinus Leiophylla</i>) y maguey (<i>Agave ferox</i>) de repoblación	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Huixquilucan	
ALTITUD (msnm): 2685	PENDIENTE: 22°	EXPOSICIÓN: Solana (Sureste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Interior de barranco, vertiente al río Aramitza		
SUELO: Vertisol crómico		
LITOLOGÍA: Piroclastos líticos de textura gruesa		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Terreno sin uso aparente/Construcciones dispersas/Veredas		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Pinus Leiophylla</i>	2	1
Abundancia: 2	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Pinus Leiophylla</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Eupatorium deltoideum</i>	+	1
<i>Agave ferox</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Eupatorium deltoideum</i>	1	2
<i>Senecio salignus</i>	1	2
<i>Scrophulariaceae</i>	+	2
<i>Agave ferox</i>	+	1
<i>Pinus Leiophylla</i>	+	1
<i>Castilleja arvensis</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBACEO		
<i>Festuca sp.</i>	5	5
<i>Baccharis ramulosa</i>	1	3
<i>Scrophulariaceae</i>	1	2
<i>Castilleja arvensis</i>	+	1
<i>Agave ferox</i>	+	1
<i>Eupatorium glabratum</i>	+	1
<i>Lamourouxia tenuifolia</i>	+	1
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	

VIIa. La geofacies de las superficies de cultivo sobre secuencias de vertisol crómico, andosol háplico y fluvisol eútrico en divisorias, superficies aluviales y laderas tendidas de los valles.

Este geosistema es el mayor centro agrícola dentro del ámbito pedemontano. La superficie cultivada representa un porcentaje tan alto como del 60 % de las tierras, coincidiendo con los terrenos de topografía más favorecida como el

fondo plano de algunos valles rellenos de aluviones, las franjas divisorias y sus prolongaciones a través de las laderas extensas y tendidas de los valles asimétricos. La actividad agrícola se basa en la producción permanente por medio de la rotación de cultivos anuales, entre los que destacan productos típicos como el maíz, el frijol y la avena forrajera, que en lo básico están destinadas al comercio con el exterior. Además, el sistema de usos de estas superficies incluye su eventual utilización como campos para el pastoreo.

Aunque -de la misma forma que ocurre con el geosistema IV- el contacto entre los bosques y las áreas de labor pareciera no afectar en demasía la estructura y buena salud de aquellos, evidentemente el nivel de las roturaciones es muy alto y ha causado gravísimos daños, en principio, debido a que las áreas de labor rompen con la continuidad de los bosques y los fragmentan, quedando éstos más susceptibles al embate exterior, y en segunda instancia porque a través de las áreas agrícolas se ha facilitado e incrementado la presencia del hombre en el interior de los espacios forestales.

VII. La geofacies de las superficies perturbadas y sin recubrimiento vegetal afectadas por acarcavamiento y otros fenómenos de gravedad, o por acciones antrópicas en los entornos a los pueblos y ejes de infraestructura.

Las superficies desnudas de recubrimiento vegetal continúan siendo -como en los geosistemas de montaña- poco representativa en cuanto a la superficie que ocupan, aunque de gran significado ecológico, máxime porque el caso que nos ocupa expone una mayor diversificación e intensificación de los procesos antrópicos que están asociados con la degradación del sistema natural. No obstante mayor parte de estas superficies desnudas se refieren a la apertura de grandes cárcavas sobre las parcelas inestables por naturaleza y que han sido en su momento roturadas, desequilibradas y comúnmente abandonadas a causa del mismo fenómeno erosivo. Otros espacios se deben a acciones antropógenas directas y relativas a la apertura de tajos y acumulación de material de destajo en las laderas internas de los valles debido al enplazamiento de obras de infraestructura vial y líneas de luz, construcción de habitaciones en los entornos a los pueblos, principalmente.

10.2.7.1. La serie del bosque mixto de pino-encino de la parte superior de la rampa Norte y valles altos de Hixquilucan.

Dentro del contexto pedemontano de la sierra, el geosistema VII es el único que está inmerso en un sistema de evolución básicamente rural que es propio del cinturón suburbano que no está inmediato a la ciudad -y por lo tanto que no genera trastornos ocupacionales- pero en el que ya opera un sistema de aprovechamiento agropecuarios y la puesta en marcha de un sistema de sustitución del uso del suelo forestal por áreas de labor. De esta forma, las distintas geofacies arbóreas -VII₂, VII₃, VII₄ y VII₅- que ya existían desde antes de la apertura de los campos agrícolas, debieron ser sistemáticamente taladas y reemplazadas por campos de labor (geofacies VII₈). Tras el desequilibrio ecológico que supone la roturación y el emplazamiento de la actividad agrícola, extensas áreas de cultivo acaban inmersas en dinámicas de rápida regresión y afectadas por procesos acarcavamiento (geofacies VII₉) o bien, tras el peligro de entrara en este tipo de dinámica degradante los campos son abandonados y colonizados por algunos zacatales de *Festuca sp.* que comúnmente son objeto de repoblaciones con pinos (geofacies VII₇) tendentes a evitar la erosión de los suelos

Sin embargo, las posibilidades de regeneración ecológica de las vertientes altas de la rampa han mostrado ser altas y en particular el geosistema VII queda inmerso en una línea evolutiva francamente progresiva en todos los estadios seriales, aunque ciertamente ya presenta dificultades para retornar al estadio clímax, sobre todo por la presencia en éste de algunos componentes florísticos muy especializados y sensibles. Así, a partir de que las superficies desnudas la recolonización inicia con matorrales pioneros de tepozán (geofacies VII₆) que con cierta prontitud son sustituidos por las comunidades forestales que aparecen en una secuencia bien definida según se completa la recuperación de los ambientes húmedos y protegidos. De esta forma, tras los matorrales aparecen los encinares con cuachichie y o capulín (geofacies VII₄), seguidos de facies arbóreas de encinares puros (geofacies VII₃), cuyo dosel alto y cerrado permite la ulterior reaparición de la comunidad clímax (geofacies VII₂). Hay que decir que la geofacies de los bosques de encino con pino chino (geofacies VII₁) es una facies de alto grado de evolución ecológica que parece estar separada de la serie

general, por lo cual se puede suponer que constituye otra geofacies clímax característica de sectores de cima y que ha sido favorecida se expansión en las áreas de cima por los incendios forestales.

10.2.8. El geosistema VIII, semifrío y húmedo de la parte superior de las rampas centrales, con encinares, aprovechamiento agro-silvícola y ocupación habitacional concentrada en pueblos.

Como parte de los aspectos más sobresalientes del medio que son claves en la configuración paisajística de este geosistema hay que destacar el origen de las rampas, ya que se formaron al pie del macizo Las Cruces sobre un substrato piroclástico variado y en todo caso alterado y dislocado por los diversos patrones de fracturación, sobre todo por el que orienta sus estructuras al SW-NE. La adaptación de las corrientes plio-cuaternarias a la red de dislocaciones ocurrió mediante procesos intensos que llevaron a la evolución de paisajes densamente abarrancados, con valles de perfil asimétrico aunque notablemente encajados y delimitados por angostas divisorias.

El clima de este sector alto del piedemonte central está condicionado por el fuerte gradiente topográfico del frente montañoso de Las Cruces, que en primera instancia forza el ascenso de las masas de aire del este y noreste, obligándolas a precipitar, al tiempo que la morfología marcadamente cóncava de las rampas origina un abrigo térmico que las libra del efecto refrescante de los vientos. Así, este geosistema queda inmerso en la franja de clima semifrío y húmedo característico de las partes superiores de la rampa, con una temperatura media anual que puede alcanzar los 14° C, en tanto que las medias mensuales, siempre superiores a 10° C, pueden rozar los 18° C durante el verano. Las precipitaciones, por su parte, son notables, con valores medios anuales superiores a 1200 mm y más de 200 mm mensuales durante el verano, en que se concentra la mitad de las lluvias del año, resultando un régimen estacional que - a diferencia de todo el sector alto de la Subregión de la Rampa de Enlace- no tiene una estación de sequía bien definida. El valor de los excedentes hídricos que se generan anualmente se sitúa entre 500 y 800 mm, que corresponden a una escorrentía teórica media-alta.

La combinación de una litología fracturada y afectada por la alteración -con importantes cantidades de materiales arcillosos- y unos altos gradientes topográficos en las vertientes abarrancadas es favorable a que la circulación de los estos excedentes se realice fundamentalmente por medio infiltraciones o de flujos superficiales. Las entradas y salidas de agua en el sistema canalizado de superficie definen una intensa dinámica hídrica y geomorfológica que se concentra en el interior de las redes de barrancos de régimen torrencial (Córdoba, San Mateo, Chiquito, Los Remedios, Totolinga, Los Cuartos y Canaleja, como los principales) que atraviesan el área procedentes de la montaña y que durante el verano catalizan el modelado de las laderas internas del sistema, donde intervienen procesos de arroyada, deslizamientos y asentamientos del terreno.

La edafogénesis en estos ambientes tan dinámicos es difícil, toda vez que existe un constante barrido superficial de los protosuelos que así resultan desmantelados por erosión, presentándose delgados y discontinuos. Su evolución se produce a partir de la alteración *in situ* del material, comúnmente depósitos tobáceos muy alterados sobre los cuales se desarrollan horizontes B de tipo cámbico. Los cambisoles crómicos son entonces la unidad edáfica más representativa y se intercalan con algunos andosoles, en su mayor parte de tipo háplico debido a la escasez de aportes orgánicos de origen forestal, y con antroposoles úrbicos que -asociados con los bordes de caminos y poblados- están cada vez más extendidos en el interior de los barrancos.

De esta forma, y pese a que este geosistema está dentro del piso vegetal de transición en el que coexisten elementos latifoliados y pináceos, éstos últimos no existen y el poblamiento forestal está dominado por los bosques monogenéricos de encino. Las condiciones ecológicas de su relieve agreste, abierto y dispuesto para recibir de frente el influjo de los vientos dominantes -ahora cargados de contaminantes atmosféricos-, sumadas al ascenso térmico y sobre todo al notable desequilibrio hidrológico y geomorfológico de las laderas, generado y progresivamente acrecentado por las actividades del hombre, parecen ser las causas fundamentales a las que se asocia la retirada de las pináceas, ahora replegadas en niveles altitudinales más altos correspondientes ya al geosistema VI.

Tradicionalmente el incremento de la ocupación había sido gradual, estando sujeta al crecimiento natural de una población dedicada a la explotación agro-silvícola de las tierras y que con anterioridad se asentaba en pequeños pueblos del interior de los valles (Tepatlaxco, Chichicaspa y Texcalucan). Dentro del sistema de sustitución de usos del suelo entonces vigente estaba implícita la eliminación sistemática de los encinares que eran reemplazados por campos de cultivo, al tiempo que se producía una intensa explotación de sus recursos maderables. Esta modalidad de evolución pudo permanecer hasta la segunda mitad del presente siglo, cuando el área resultó afectada por el proceso de crecimiento de la capital, constituyéndose en la actualidad como un cinturón agro-forestal, en el cual y no obstante las difíciles condiciones que impone el relieve al trabajo del hombre, el crecimiento poblacional se ha visto incentivado con la llegada de inmigrantes que arriban sobre todo en las aureolas de baja densidad de ocupación que bordean sobre todo a los dos pueblos más céntricos (Tepatlaxco y Chichicaspa), que por ello están sujetos a un proceso de expansión desmedida.

El sistema de aprovechamiento rural que predominaba anteriormente está hoy modificado por una dinámica de tintes más urbanos, mediante la cual se da un proceso complejo que suele iniciar con el abandono de la producción en los campos de cultivo, que así permanecen la mayor parte del tiempo como terrenos sin uso, para posteriormente sucumbir ante el mercado inmobiliario. No obstante el notable dinamismo de este sistema de transformaciones, en la actualidad la superficie ocupada por los antiguos pueblos continúa siendo escasa (5 % de la superficie del geosistema) y el componente rural domina en el paisaje, aunque el grado de perturbación que ha causado en el medio es de los más altos de la sierra, con la consecuente degradación del potencial natural y la consolidación de una tendencia a la homogenización del contenido geoecológico y a la simplificación de la organización interna que hoy en día se compone de tan solo cuatro estados del geosistema entre los que se intercalan campos de cultivo, áreas forestadas, sin uso aparente y otras sujetas a una intensa denudación por acarreamiento.

VIII₁. La geofacies del bosque de encino laurel (*Quercus crassipes*) con garambuyo (*Arctostaphylos arguta*) y sotobosque de madroño (*Arbutus xalapensis*), senecios (*Senecio spp.*), cuachichie (*Garrya laurifolia*) y tepozán (*Buddleja americana*), sobre secuencias de andosol úmbrico y cambisol crómico en superficies divisorias y laderas de valles profundos.

Son los bosques más vigorosos y mejor conservados que por norma están inmersos en el interior de las mayores masas vegetales que aún se conservan en los extremos más altos de la rampa, coincidiendo con divisorias y laderas de valles profundos, en los sectores ecológicamente más estables y libres de la presencia humana. Se trata, pues, de encinares de gran talla y estructura compleja que tienen al encino laurel (*Quercus crassipes*) como fitodominante en los estratos arbóreos. No obstante, se exhibe en esta comunidad un cierto grado de perturbación asociado con la contaminación de los entornos y por el cual se tiene que el dosel de los encinos no alcanza coberturas tan amplias como en otros casos, lo que permite una buena iluminación que es además aprovechada por un buen número de otras latifoliadas que ganan terreno ante la perturbación del entorno. De entre ellas destacan por su talla los garambuyos (*Arctostaphylos arguta*) y los madroños, además de los cuachichies (*Garrya laurifolia*), que son favorecidos por el alto grado de humedad y resguardo que le procura el entorno forestal.

En el sotobosque, el listado florístico cuenta con más de diez especies, en su mayoría plantas fitoindicadoras de una ecología perturbada como los tepozanes (*Buddleja americana*) y el hilo (*Eupatorium glabratum*), plantas arbustivas que en algunos enclaves (geotopos) de mayor degradación están mejor desarrollados y alcanzan tallas arbustivas o arborescentes. De la misma forma destacan otros fitoindicadores de la abundancia hídrica frecuencia en andosoles y cambisoles, como es el caso del jaboncillo (*Clethra mexicana*), los helechos y el carrizo, y otros más asociados con la antropización como algunas leguminosas y gramíneas introducidas de cultivos. Si bien se trata de comunidades que evolucionan de forma progresiva, el mayor desarrollo se centra en los estratos bajos de la formación, donde se concentran la mayor parte de los componentes indicadores de perturbación ecológica, similar a las facies degradadas de otros encinares (geosistemas VI).

GEOFACIES: VIII:	Bosque de encino laurel (<i>Quercus crassipes</i>) con garambujo (<i>Arctostaphylos arguta</i>) y sotobosque de madroño (<i>Arbutus xalapensis</i>), senecios (<i>Senecio spp.</i>), cuachichie (<i>Garrya laurifolia</i>) y tepozán (<i>Buddleja americana</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: San Fco. Chimalpa	
ALTITUD (msnm): 2800	PENDIENTE: 35°	EXPOSICIÓN: Solana (Sur)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera de barranco		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Remoción de tierra/Basurero/Construcciones dispersas		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
Quercus crassipes	3	1
Abundancia: 3	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
Quercus crassipes	3	2
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
Quercus crassipes	2	1
Arctostaphylos arguta	2	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Arbutus xalapensis	2	1
Senecio barba-Johannis	1	2
Garrya laurifolia	1	2
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Buddleja americana	2	2
Juncácea	2	2
Garrya laurifolia	1	1
Arbutus xalapensis	+	1
Senecio roldana	+	1
Clethra mexicana	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Garrya laurifolia	1	1
Leguminosa	1	1
Arbutus xalapensis	+	1
Buddleja americana	+	1
Senecio roldana	+	2
helecho	+	1
Gramínea tipo avena	+	1
Arracacia atropurpurea	+	1
Eupatorium glabratum	+	1
Viola flagelliformis	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

VIII₂. La geofacies del bosque muy alterado y bajo de encinos (*Quercus spp.*) con capulín (*Prunus capuli*) y sotobosque de hilo (*Eupatorium glabratum*) sobre secuencias de regosol eútrico y fluvisol eútrico en enclaves resguardados de los fondos de valles y barrancos intervenidos.

Corresponde esta geofacies con los enclaves que ocupan el fondo de los valles, con frecuencia intervenidos y por ende alterados pero que aprovechan la mayor humedad y el recobijo favorecido por la topografía. En la pirámide de vegetación correspondiente llama la atención la baja talla de los encinares, que no obstante son comunidades muy diversificadas en su listado florístico que incluye más de diez especies. En el grupo de los encinos predominan las variedades de afinidad por ambientes de transición montaña-rampa como encino carrasco (*Q. obtusata*) y *Q. glabrescens*, aunque son comunes y cada vez más representativos otros de ambientes más desfavorecidos propios de la base de la sierra como el encino tezahuatl (*Q. mexicana*) y *Q. centralis*.

Intercalados con los encinos, aunque ocupando un estrato más bajo de talla arbustiva, se tiene un denso manto de hilo (*Eupatorium glabratum*) con ejemplares dispersos de encinos (*Quercus spp.*), madroños (*Arbutus xalapensis*) y capulines (*Prunus capuli*). Exceptuando a los encinos, los demás géneros pueden interpretarse como plantas mejor adaptadas a la perturbación de los ambientes e incluso oportunistas que aprovechan la apertura del dosel arbóreo para colonizar y constituirse como elementos competidores de los encinos. Se trata, en fin, de una geofacies que evoluciona en la mismo sentido regresivo que la anterior, definiéndose una pronta evolución de los sotobosques, aunque con graves problemas para la regeneración del estrato arbóreo, lo que evidentemente supone un peligro real para la continuidad de la comunidad. Y dado el estado actual de las tendencias de ocupación y perturbación del medio por parte del hombre, se espera una continuidad de la degradación natural y una mayor definición de la tendencia degradativa de los bosques.

GEOFACIES: VIII:	Bosque muy alterado y bajo de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con capulín (<i>Prunus capuli</i>) y sotobosque de hilo (<i>Eupatorium glabratum</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Córdoba	
ALTITUD (msnm): 2541	PENDIENTE: 22°	EXPOSICIÓN: Umbría (Oeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera del valle del río Córdoba		
SUELO: Cambisol crómico		
LITOLOGÍA: Tobas alteradas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Veredas/Remosión de tierra		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Quercus centralis</i>	1	2
<i>Quercus mexicana</i>	1	2
<i>Quercus obtusata</i>	1	2
Abundancia: 3	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Eupatorium glabratum</i>	4	3
<i>Prunus capuli</i>	1	1
<i>Quercus glabrescens</i>	+	1
<i>Arbutus xalapensis</i>	+	1
<i>Senecio barba-Johannis</i>	+	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Quercus glabrescens</i>	+	1
<i>Quercus centralis</i>	+	1
<i>Eupatorium glabratum</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Festuca sp.</i>	1	1
Musgo	1	1
<i>Quercus centralis</i>	+	1
<i>Eupatorium glabratum</i>	+	1
<i>Prunus capuli</i>	+	1
helecho	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

VIII.3. La geofacies del bosque muy alterado de encinos (*Quercus spp.*) con sotobosque de romerillo (*Verbesina virgata*) sobre secuencias de andosol háplico y cambisol crómico en la parte alta de las laderas cortas de los valles y de los barrancos intervenidos.

Los encinares de la parte alta de los valles y de algunos grandes barrancos son fisionómicamente muy distintos a los que colonizan en las partes intermedias de las laderas, ya que en ellos el contacto con los antropismos es más directo.

Suelen ser la vegetación forestal típica de los bordes de caminos y de los entornos a los pueblos rurales, es decir, comunidades altamente perturbadas por la frecuente presencia del hombre. En la pirámide de vegetación correspondiente se observa una formación vegetal similar a la de otros encinares perturbados, con dos a cuatro variedades de encino que son codominantes, aunque destaca en ella un notorio decremento en la calidad y en la cantidad de las especies que forman el *stock* florístico. Se trata de una formación sencilla que cuenta con un solo estrato arbóreo en el que además de los encinos propios de transición -como *Quercus conglomerata* y *Q. glabrescens*- entra el encino prieto (*Q. laeta*), variedad muy resistente, fitoindicadora de la fuerte degradación ambiental.

GEOFACIES: VIII _b	Bosque muy alterado de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de romerillo (<i>Verbesina virgata</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: San Cristobal Texcalucan	
ALTITUD (msnm): 2580	PENDIENTE: 20°	EXPOSICIÓN: Umbria (Norte)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera superior de barranco		
SUELO: Cambisol crómico		
LITOLOGÍA: Tobas alteradas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Basurero/Construcciones dispersas		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Quercus conglomerata</i>	3	2
<i>Quercus glabrescens</i>	3	2
<i>Quercus laeta</i>	3	2
Abundancia: 5		Dinámica: Progresiva
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Verbesina virgata</i>	3	4
Abundancia: 3		Dinámica: Estable
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Eupatorium sp.</i>	1	3
<i>Verbesina virgata</i>	1	1
<i>Quercus glabrescens</i>	+	1
Leguminosa	+	1
Abundancia: 2		Dinámica: Progresiva
ESTRATO HERBÁCEO		
Gramínea tipo <i>Stipa</i>	5	5
<i>Quercus laeta</i>	2	3
<i>Festuca sp.</i>	1	1
<i>Eupatorium sp.</i>	1	1
<i>Mimosa acanthocarpa</i>	+	1
Abundancia: 5		Dinámica: Progresiva

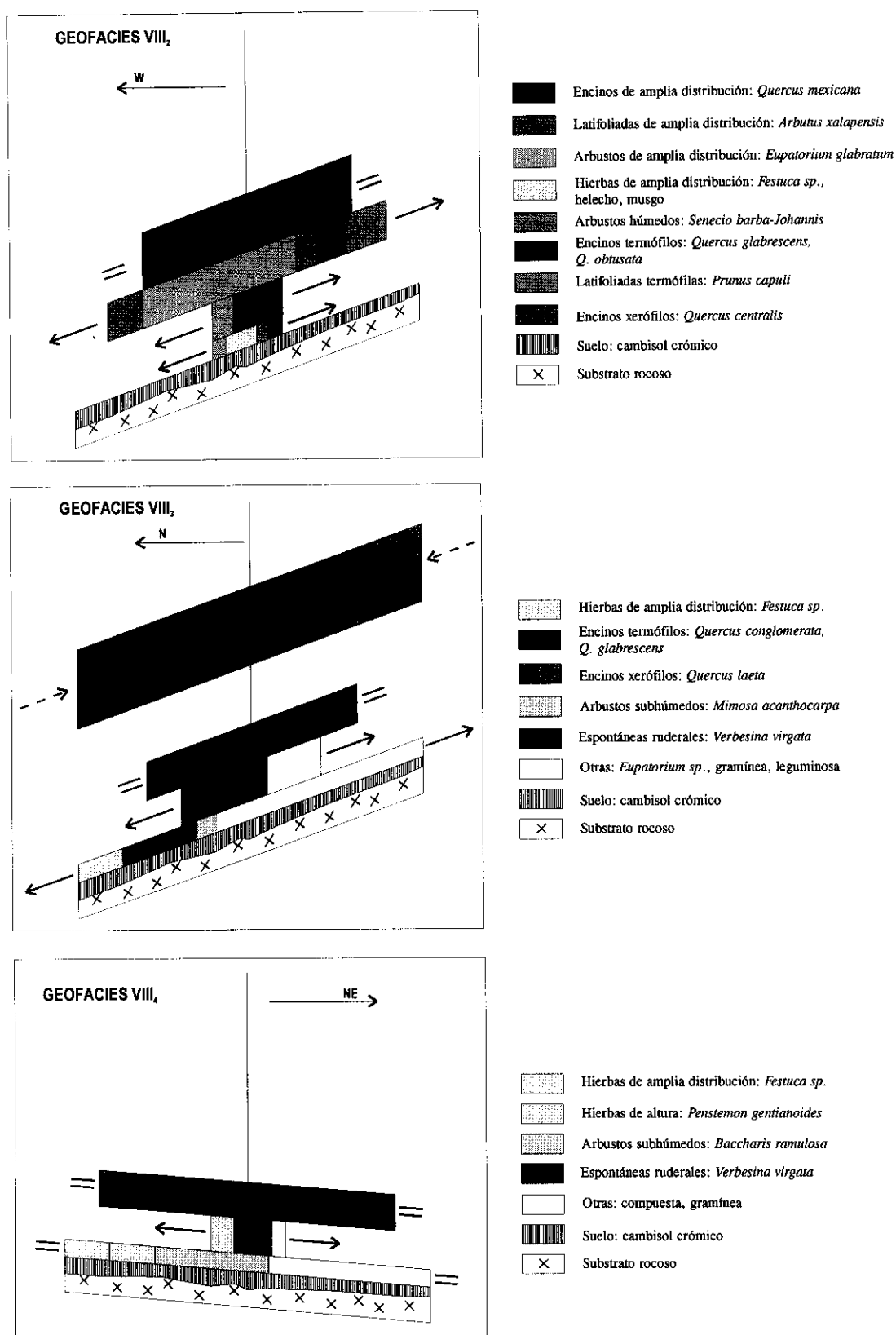


Figura 10.26. Pirámides de vegetación VIII₂, VIII₃ y VIII₄.

En el sotobosque, los elementos más representativos también son los mejor adaptados a la degradación ambiental, más sentida por efecto de la sequedad superficial propinada por el sobrepisoteo y del predominio de los escurrimientos superficiales y por tanto de la erosión de suelo. De entre ellos el romerillo (*Verbesina virgata*) es el elemento ruderal más representativo y que forma un dosel denso, bajo el cual prosperan otras plantas propias de entornos poco favorecidos como la uña de gato (*Mimosa acanthocarpa*), además de diversas gramíneas y leguminosas. Se trata pues de una comunidad vegetal que acusa una tendencia evolutiva de tipo regresivo, con predominio creciente de los elementos florales espinosos y/o altamente tolerantes y la sistemática retirada de los encinares, hoy subdesarrollados, enfermos y comúnmente plagados que se exhiben en esta facies.

VIII4. La geofacies del matorral de romerillo (*Verbesina virgata*) sobre secuencias de antrosol úrbico en las superficies divisorias y laderas tendidas de los valles intervenidos con fuerte desequilibrio estructural.

Es la comunidad silvestre más extendida y también la que está genéticamente mejor vinculada con los entornos ecumenizados de este sector de la rampa. Concretamente coincide con antiguas parcelas agrícolas de vertientes y de algunas laderas tendidas de los valles disimétricos que han sido abandonadas o bien, con los bordes de bosque que dan frente a las vías de comunicación o a los pueblos, donde se intercala con la geofacies VIII3. En todo caso estas laderas han sido afectadas por el sobrepisoteo y la contaminación, estando ahora colonizadas por una vegetación poco evolucionada de matorral de romerillo (*Verbesina virgata*) que en ocasiones es muy abierto y brinda la fisionomía de un pastizal, pero que en otros -como se observa en la pirámide de vegetación VIII4- consiste en comunidades más bien cerradas, con diversas gramíneas, compuestas y eventualmente otras plantas fitoindicadoras de la sequedad superficial que premia en el suelo, como la espinosa uña de gato (*Mimosa acanthocarpa*) que ya se citó en la geofacies anterior, una escobilla (*Baccharis ramulosa*) ramosa de hoja muy pequeña y otras plantas frecuentes en ambientes alterados por como la *Penstemon gentianoides*.

GEOFACIES: VIII.	Matorral de romerillo (<i>Verbesina virgata</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: San Cristobal Texcalucan	
ALTITUD (msnm): 2570	PENDIENTE: 5°	EXPOSICIÓN: Solana (Sur)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Superficie culminante de loma		
SUELO: Cambisol crómico		
LITOLOGÍA: Tobas alteradas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Terreno abandonado sin uso aparente/Construcciones dispersas		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBUSTIVO		
Verbesina virgata	4	4
Abundancia: 4	Dinámica: Estable	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Verbesina virgata	1	2
Festuca sp.	+	2
Compuesta	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Gramínea	4	5
Baccharis ramulosa	2	2
Festuca sp.	1	2
Penstemon gentianoides	+	1
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	

VIII. La geofacies de las superficies de cultivo sobre secuencias de cambisol crómico, andosol háplico y fluvisol eútrico en divisorias, superficies aluviales y laderas tendidas de los valles.

La agricultura es una de las actividades más representativas y de mayor impacto en la configuración actual de los paisajes naturales. Sin embargo -y terminado el período de auge de esta actividad durante el cual se abrieron numerosas parcelas agrícolas en las décadas centrales del siglo- la superficie productiva acusa en la actualidad un lento decremento debido tanto a causas de índole natural como antrópico. La mayor actividad se centra en los terrenos de topografía más regular pero que coinciden con roquedos altamente deleznales que, evidentemente han limitado la evolución de esta actividad a consecuencia del acarcavamiento intenso de la mayoría de los campos abiertos. Aunado a esto, los bajos incentivos económicos de que dispone la agricultura y la presión debida la expansión de los usos habitacionales y a la atracción económica que ejerce la urbe sobre la población rural original, frenan la evolución del agrícola que hoy

se limita a una producción temporal de cultivos anuales -principalmente frijol y maíz- que están destinados tanto al consumo local como al comercio con el exterior.

VIII.6. La geofacies de las superficies perturbadas y sin recubrimiento vegetal por acarcavamiento y fenómenos de gravedad, así como por acciones antrópicas en los entornos a los pueblos y ejes de infraestructura.

Según se ha explicado con anterioridad la porción alta de las rampas centrales tiene un alto potencial erosivo que responde en lo básico a un roquedo altamente deleznable de piroclastos alterados por la tectónica y también a la topografía agreste de este sector de la sierra. El arroyamiento concentrado asociado con otros fenómenos de gravedad (deslizamiento y colapsamiento, fundamentalmente) son los más devastadores y generalizados, por los que se genera la mayor parte de las superficies de máxima perturbación que corresponden con las cárcavas y *Badlands* que en gran densidad se distribuyen difuminadas en toda el área. Este tipo de dinámica suele ser favorecida por la presencia de elementos antrópicos y por lo tanto su distribución coincide con amplias extensiones desmontadas para la agricultura y para la construcción. En segundo plano merecen atención los espacios desnudos por efecto del movimiento de tierras para el emplazamiento de infraestructuras y construcción de viviendas que se concentran en las franjas divisorias de barrancos.

10.2.8.1. La serie del encinar de la parte superior de las rampas centrales.

Este sector alto de las rampas centrales que se define por ser intrínsecamente sensible e inestable, recibe de forma intensa y creciente una importante carga de afecciones antrópicas que incentivan su fragilidad natural. Según se ha dicho con anterioridad la intervención humana inició con la apertura de campos agrícolas y de ahí se continuó con otras muchas y muy variadas acciones que afectan el entorno natural de forma directa o bien por medio de una lenta degradación del potencial ecológico. El conjunto de ambos tipos ha causado un giro en la tendencia evolutiva que ahora se define como francamente regresiva y mejor

caracterizada por el emplazamiento de situaciones de inminente destrucción de las vertientes por procesos de arroyamiento intenso.

Así, el encinar clímax que aún con posterioridad al tiempo de la colonia española cubría las vertientes está hoy en proceso de desaparición y los bosques que aun permanecen exhiben siempre un cierto grado de afectación. De ellos, los bosques mejor conservados, quizá asociados a la comunidad clímax original y que por tanto constituyen la comunidad clímax actual es el encinar casi puro de encino laurel con garambuyos dispersos (geofacies VIII₁). La sustitución de este encinar por otros que acusan cada vez mayor degradación biótica es un proceso que adquiere cada vez mayor dinamismo, siendo en una primera fase de la sustitución encinares bajos con capulín e hilo (geofacies VIII₂) como los que hoy colonizan el interior de la mayoría de los barrancos y en una segunda parte por encinares con romerillo (geofacies VIII₃) y otras plantas con afinidad por los ambientes alterados. Finalmente, la aparición del matorral de romerillo (geofacies VIII₄) que es frecuente en los bordes de caminos y en los entornos a los pueblos y a los campos de cultivo se ha interpretado como una geofacies de máxima perturbación que muestra una máxima degradación estructural.

Si bien existe entre aquellas geofacies la posibilidad de retorno a situaciones de mejoría ecológica, la recuperación natural parece muy difícil toda vez que el potencial geoecológico -ahora disminuido por la perturbación- es casi incapaz de llevar hacia una mejoría ecológica, sin ser interferido el proceso por nuevas intervenciones antrópicas, quedando pues el sistema natural inmerso en una dinámica francamente regresiva y con muy escasa posibilidad de recuperación. En cambio, la tendencia más generalizada es que cualquiera de las facies arbóreas o incluso el matorral de romerillo evolucionen de forma regresiva hacia geofacies de máxima perturbación (geofacies VIII₆) por medio de intensos procesos de acarcavamiento y otros fenómenos relativos a la actividad morfodinámica o bien, por medio de acciones humanas relativas al corte de tajos y acumulación de escombros de la construcción. La actividad morfogenética es tan intensa que arrastra al colapso de numerosas parcelas agrícolas que tienden a ser reemplazadas por un tipo de paisaje mal definido, en el que una incipiente tendencia regenerativa (geofacies VIII₄), resulta vencida bajo las tendencias degradativas que suman tierras a los espacios acarcavados.

10.2.9. El geosistema IX, fresco y semihúmedo de la parte media de la rampa Norte, con bosque mixto de oyamel, pinos y encinos, aprovechamiento agro-silvícola y ocupación concentrada en pueblos y fraccionamientos.

Como se ha dicho antes, la porción septentrional de la rampa constituye una configuración geosistémica particular, modelada sobre materiales piroclásticos que en términos generales son los más antiguos, texturalmente más finos y descohesionados, además de presentarse poco afectados por el extendido patrón tectónico del SW-NE. Por ello, el modelado cuaternario de esta porción tendida de la rampa se realizó por procesos moderados que, en principio, ocasionaron un “barrido” de los materiales superficiales, con importantes fenómenos de encajamiento de las redes que, no obstante, no muestran haber sido tan intensos como en otras partes de la rampa, llevando en este caso a la configuración de valles disimétricos que se recargan con mayor insistencia sobre la margen derecha de los cursos, la que mira con dirección al nivel de base de la sierra.

La morfología abierta de los valles y su ubicación en una porción media de la rampa Norte posibilita la entrada libre de las masas de aire del este y noreste y el emplazamiento de condiciones de buena aireación y temperaturas frescas, aunque con una importante merma de los aportes pluviales, que varían de 800 a 1200 mm anuales, con las lluvias medias de todos los meses del año (excepto julio) por debajo de 200 mm, diferenciándose un estación lluviosa de solamente cinco meses. Este decremento pluviométrico tiene repercusiones en el volumen de agua disponible para las escorrentías, de las que una parte importante fluye a través de la circulación epidérmica, favorecida por los materiales alterados del roquedo, que, si bien son de baja permeabilidad debido al alto contenido de arcillas, tienen gran capacidad para retener agua. Los escurrimientos superficiales se canalizan a través de sólo tres cursos de régimen semipermanente o estacional (los ríos Cuautitlán, San Pedro y Xinté), parcialmente alimentadas por los excedentes generados ladera arriba fuera del sistema, mientras el resto son pequeños arroyos de régimen torrencial y gran capacidad erosiva.

No obstante la suavidad topográfica, el contenido edáfico es variado y consiste en suelos cineríticos o que han evolucionado sobre piroclastos que fueron redepositados por procesos de erosión y alterados en el Cuaternario. Su génesis está controlada por la relativa suavidad topográfica y por la alta capacidad de los materiales para aceptar agua, ya que todo ello permite la retención de importantes volúmenes del líquido dentro de la epidermis y el mantenimiento constante de procesos de percolación, lavado y lixiviación de sustancias y partículas arcillosas, con la consecuente evolución de del luvisol crómico, que se intercala -dependiendo de la litología y de los aportes orgánicos- con andosoles úmbricos y háplicos. En el fondo llano de los principales valles, la evolución de fluvisoles eútricos es una peculiaridad común a los geosistemas de la rampa. Dada la alta fragilidad del roquedo alterado ante el embate externo y la alta capacidad de éste para retener agua cerca de la superficie, el subsistema del suelo es particularmente inestable durante los episodios de recarga hídrica, en los cuales se incrementa la remoción de los mantos superficiales mediante procesos de acarreamiento.

Por su parte, la explotación biológica está controlada por la ubicación del área en las medianías de la vertiente y dentro del piso de transición vegetal que integra -como se ha señalado- los elementos básicos de la flora: las pináceas y los encinos. Más concretamente, este geosistema queda enmarcado en el subpiso inferior, caracterizado por un claro predominio de los encinares casi puros, los cuales en la actualidad dominan el paisaje de las laderas abiertas y mejor expuestas, al tiempo que el potencial ecológico resulta insuficiente para el oyamel (*Abies religiosa*), estando las pináceas representadas sólo por el pino chino (*Pinus Leiophylla*), que tiene mayor dominio en el geosistema VII y que logra penetrar en éste solo a través de los fondos de valle y de las altas laderas de umbría, enclaves éstos mejor resguardados, frescos y concentradores de humedad, donde forman comunidades mixtas con los encinos.

El sistema actual de aprovechamientos humanos se ha establecido con nitidez en las últimas cuatro décadas, mostrando importantes giros según han ido cambiando las necesidades del hombre y de acuerdo con los desequilibrios causados por éste en el medio natural. Anteriormente, con la implantación de campos de explotación agropecuaria el área pasó a formar parte del llamado cinturón agro-forestal del área urbana de Ciudad de México; dicha implantación

se dio a gran escala, abarcando una extensa superficie superior al 50% del total del territorio del geosistema. Pero este tipo de uso debió colapsar bruscamente cuando, a consecuencia de los desequilibrios provocados por la presencia del hombre, las laderas más tendidas de los valles disimétricos -más afectadas por la roturación- se vieron inmersas en una intensa dinámica erosiva, consistente en la activación de los antiguos barrancos fitoestabilizados y el emplazamiento de una amplia red de acarcavamientos y evolución de *badlands*.

De esta forma, en la actualidad la intensidad de la dinámica geomorfológica se mantiene en niveles altos y da al paisaje un aspecto lacerado por los acarcavamientos, que se amplían en detrimento de las superficies de cultivo, ya en su mayoría abandonadas o sujetas a un sistema de producción estacional y de bajo rendimiento. La ocupación del territorio -aún relativamente distante de la aglomeración urbana- es escasa y se presenta dispersa sin constituir núcleos, estando sus habitantes poco integrados económicamente con el área urbanizada. Por todo ello, este sistema debe ser entendido como una pieza clave que, al tiempo que constituye en una franja "colchón" que mitiga el avance urbano en el sector Norte de la rampa de enlace, es muestra del tipo de degradación en el que pueden quedar sujetos otros sectores más altos de la vertiente y que aun no han quedado sujetos a procesos degradativos intensos (geosistemas IV y VII).

IX₁. La geofacies del bosque mixto de encinos (*Quercus crassipes* y *Q. rugosa*) con pino chino (*P. Leiophylla*) y madroño (*Arbutus xalapensis*) y sotobosque de *Viburnum stellatum* sobre secuencias de andosol úmbrico y fluvisol eútrico en barrancos y parte baja de las laderas altas de umbría y otros enclaves resguardados.

Las comunidades mixtas de pinos y encinos de esta parte media de la rampa de enlace constituyen una prolongación de los bosques del geosistema VII que descienden a cotas más bajas sobre las laderas más húmedas de umbría. Y a pesar de que en ambos casos se trata de formaciones clímax con un evidente parecido fisionómico, se dan diferencias de primer orden, sobre todo en lo tocante al tipo de dinámica a que están sujetos. Se trata de bosques más termófilos de gran talla y cobertura, que cuentan con dos estratos arbóreos de encinos, en su mayoría de las mismas variedades que en el otro caso, con el

encino laurel (*Quercus crassipes*) y el quebracho (*Q. rugosa*) como fitodominantes y la mayoría de las veces con pocos ejemplares aunque muy altos de pino chino (*Pinus Leiophylla*). Pero quizá el elemento diferenciador de las comunidades mixtas de este geosistema son otras latifolidas mejor adaptadas a las condiciones climáticas y de perturbación que son propias de las partes medias y bajas de la rampa como los madroños (*Arbutus xalapensis*) y los capulines (*Prunus capuli*).

En el sotobosque son frecuentes otras fitoindicadoras de ambientes menos favorecidos y que incluso toleran bien la perturbación del medio natural, pero sobre todo que son propias de entornos que mantienen alto grado de humedad como el tepozán (*Buddleja americana*), el escaramujo (*Rosa Montezumae*), el senecio barba de San Juan (*Senecio barba-Johannis*), el cuachichie (*Garrya laurifolia*) y muy abundante, el *Viburnum stellatum*. Se trata de mantos más bien abiertos pero de gran diversidad con cerca de 15 especies escasamente representadas. Es, en definitiva, una comunidad vegetal muy evolucionada y sujeta a una dinámica de tipo progresivo y en la que no obstante se acusa ya una cierta degradación respecto de otras comunidades similares ubicadas a mayor altura en la vertiente. Su correspondencia con enclaves pequeños y con frecuencia anexos a centros de tránsito de gente les confiere un grave peligro que parece difícil de salvar en un futuro.

GEOFACIES: IX ₁	Bosque mixto de encinos (<i>Quercus crassipes</i> y <i>Q. rugosa</i>) con pino chino (<i>P. Leiophylla</i>) y madroño (<i>Arbutus xalapensis</i>) y sotobosque de <i>Viburnum stellatum</i>	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Santa María Mazatla	
ALTITUD (msnm): 2568	PENDIENTE: 18°	EXPOSICIÓN: Umbría (Norte)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera superior de valle frente al cerro Apaxco		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre piroclastos de textura gravosa o más fina		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Pinus Leiophylla</i>	1	1
<i>Quercus crassipes</i>	4	1
Abundancia: 4	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Arbutus xalapensis</i>	+	1
<i>Quercus crassipes</i>	1	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	

ESTRATO ARBORESCENTE		
Quercus crassipes	2	2
Quercus rugosa	2	2
Viburnum stellatum	2	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Viburnum stellatum	2	2
Prunus capuli	+	1
Buddleja americana	+	1
Eupatorium glabratum	+	1
Senecio barba-Johannis	+	1
Rosa Montezumae	+	1
Ribes rugosum	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Garrya laurifolia	1	1
Rosa Montezumae	1	1
Leguminosa	1	2
Senecio barba-Johannis	+	1
Eupatorium glabratum	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Musgo	1	2
Festuca sp.	2	3
Gramínea tipo avena	+	1
Viburnum stellatum	+	1
Acaena elongata	+	1
Rosa Montezumae	+	1
Eupatorium glabratum	1	2
Leguminosa	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	

IX₂. La geofacies del bosque de encinos (*Quercus spp.*) con tejocote (*Crataegus mexicana*) sobre andosol úmbrico en la parte baja de las laderas cortas de umbría y otros enclaves resguardados.

Los barrancos menos profundos y laderas cortas de umbría, mejor expuestos a la insolación y al viento suelen ser también los más accesibles y que reciben por tanto mayores y más frecuentes impactos humanos. Son sitios de gran actividad hidrológica y geomorfológica que inestabiliza las laderas con claras repercusiones en el tipo de la cubierta vegetal. En principio, la competencia entre pinos y encinos se define a favor de estos últimos que se convierten en fitodominantes, existiendo en las comunidades puras una amplia variedad de

especies, pero que destacan entre otros encinares por su baja talla, que no supera los 15 m. En el listado florístico predominan los elementos afines con los ambientes húmedos y frescos de la "franja de transición" como el encino carrasco (*Quercus obtusata*) el *Q. candicans*, además del capulín (*Prunus capuli*) y el tejocote (*Crataegus mexicana*), que se asocian mejor con otros encinares perturbados del geosistema XII.

GEOFACIES: IX ₂	Bosque de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con tejocote (<i>Crataegus mexicana</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Progreso Industrial	
ALTITUD (msnm): 2487	PENDIENTE: 15°	EXPOSICIÓN: Umbría (Norte)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera inferior del valle del río San Pedro		
SUELO: Andosol úmbrico		
LITOLOGÍA: Piroclastos de textura fina		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Veredas		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
Quercus candicans	2	2
Quercus obtusata	2	2
Quercus rugulosa	1	2
Quercus rugosa	1	1
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBORESCENTE		
Crataegus mexicana	3	2
Quercus obtusata	1	1
Abundancia: 4	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Crataegus mexicana	1	1
Prunus capuli	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Prunus capuli	+	1
Viburnum stellatum	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Prunus capuli	2	3
Viburnum stellatum	+	1
Rosa Montezumae	+	1
Smilax moranensis	+	1
Salvia fulgens	+	1
Adiantum andicola	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

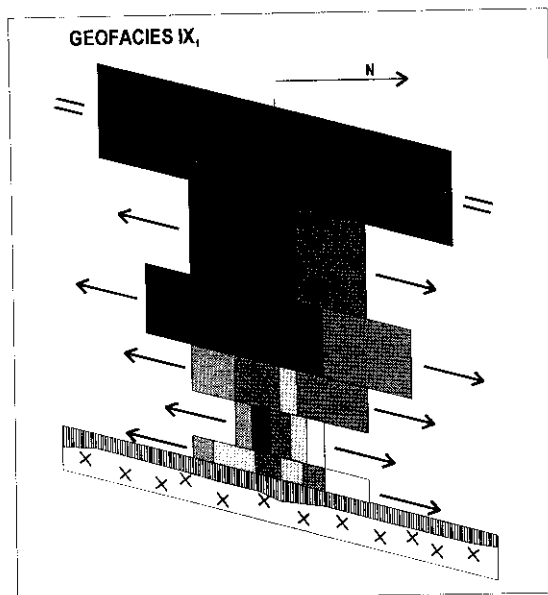
Por debajo del amplio dosel arbóreo formado por los encinos se tiene otro también extenso de tejocotes que sirven de techumbre a un sotobosque muy ralo

de tejocotes y capulines que se intercalan con otras plantas arbustivas y herbáceas también tolerantes a las perturbaciones e inclusive algunas ruderales, pero que en su mayoría son fitoindicadoras de gran humedad como los helechos, el escaramujo (*Rosa Montezumae*), *Viburnum stellatum* y *Smilax moranensis*. En fin, se trata de enclaves muy frágiles y sujetos a una intensa actividad modeladora por arroyamientos, apenas tolerables por este tipo de recubrimiento vegetal muy resistente, pero que ya reciente sobre todo al nivel del sotobosque.

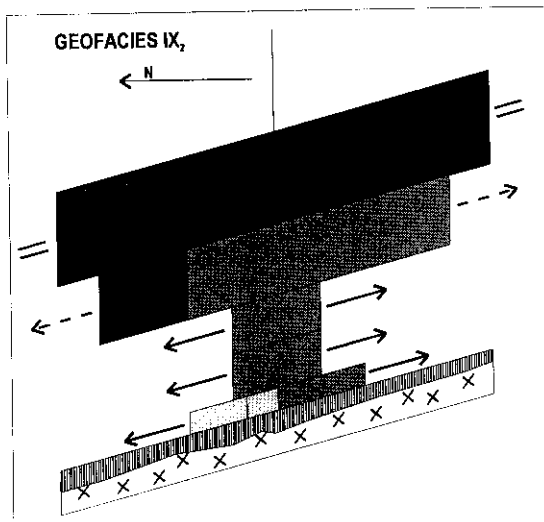
IX3. La geofacies del bosque de encinos (*Quercus spp.*) con sotobosque de eupatorium (*Eupatorium spp.*) sobre secuencias de andosol úmbrico y luvisol crómico en franjas divisorias y parte alta de las laderas cortas de umbría.

Las franjas divisorias de topografía regular y las partes altas de los valles que tienen contacto con ellas son las áreas que están sujetas de forma más regular a la presencia del hombre y sus actividades, por lo que son de la misma forma las que manifiestan mayores perturbaciones sobre la vegetación de encinares, sobre todo los que ocupan las laderas altas de los barrancos. En principio los daños más frecuentes están asociados a la compactación del suelo y sequedad superficial, así como al incremento en los niveles de contaminación y daño físico por sobre pisoteo del herbáceo y maltrato de los órganos aéreos de las plantas. Por ello, la comunidad vegetal típica muestra una fuerte degradación del estrato arbóreo que si bien se presenta con gran porte y aparente buen estado de salud, cuenta con solo una o dos variedades de encinos entre los que destaca la entrada de *Quercus centralis* que está mejor identificado con ambientes mas semiáridos de las faldas de la sierra.

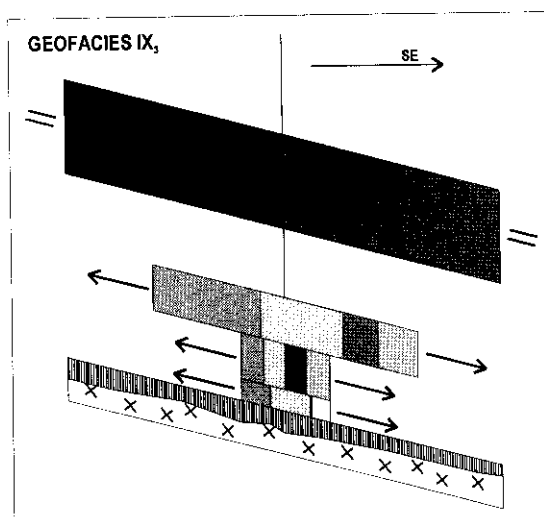
El sotobosque se mantiene tan enriquecido como en otros encinares menos alterados (geofacies IX₂), aunque destaca en él una mejor representación de especies oportunistas de la sequedad y de la degradación ambiental reinante como ocurre con los eupatorium (*Eupatorium spp.*) y con el capulín (*Prunus capuli*). Así, pues, esta geofacies exhibe una grave afección que no se ha visto en las primeras geofacies ya descritas y que llama la atención por la disminución



- Pinos de amplia distribución: *P. leiophylla*
- Encinos de amplia distribución: *Quercus crassipes*, *Q. rugosa*
- Latifoliadas de amplia distribución: *Arbutus xalapensis*
- Arbustos de amplia distribución: *Buddleja americana*, *Eupatorium glabratum*
- Hierbas de amplia distribución: *Festuca sp.*, musgo
- Latifoliadas de montaña: *Garrya laurifolia*
- Arbustos húmedos: *Acaena elongata*, *Ribes rugosum*, *Senecio barba-Johannis*
- Hierbas de altura: *Rosa Montezumae*
- Latifoliadas termófilas: *Prunus capuli*, *Viburnum stellatum*
- Otras: gramínea, leguminosa
- Suelo: andosol úmbrico
- ⊗ Substrato rocoso



- Encinos de amplia distribución: *Quercus rugosa*, *Q. rugulosa*
- Hierbas de amplia distribución: *Adiantum andicola*, *Salvia fulgens*, *Smilax moranensis*
- Hierbas de altura: *Rosa Montezumae*
- Encinos termófilos: *Quercus candicans*, *Q. obtusaia*
- Latifoliadas termófilas: *Crataegos mexicana*, *Prunus capuli*, *Viburnum stellatum*
- Suelo: andosol úmbrico
- ⊗ Substrato rocoso



- Arbustos de amplia distribución: *Eupatorium glabratum*
- Hierbas de amplia distribución: *Eupatorium pycnocephalum*, *Festuca sp.*, musgo
- Encinos termófilos: *Quercus obtusata*
- Latifoliadas termófilas: *Prunus capuli*
- Encinos xerófilos: *Quercus centralis*
- Arbustos subhúmedos: *Amelanchier denticulata*
- Otras: *Eupatorium sp.*
- Suelo: andosol háplico
- ⊗ Substrato rocoso

Figura 10.28. Pirámides de vegetación IX₁, IX₂ y IX₃.

de los árboles tolerantes y la entrada en el listado florístico de algunos fitoindicadores de la sequedad y la contaminación: Según se observa en las actuales tendencias dinámicas, es posible que este tipo de geofacies degradadas hasta ahora bastante extendidas continúen una tendencia expansionista, favorecidas por uno de los sistemas de ocupación y de aprovechamientos del suelo menos activo de la vertiente.

GEOFACIES: IX ₃	Bosque de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de eupatorium (<i>Eupatorium spp.</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: S.M.M. Cahuacán	
ALTITUD (msnm): 2601	PENDIENTE: 15°	EXPOSICIÓN: Solana (Sureste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera de barranco en la vertiente alta del río San Pedro		
SUELO: Andosol háplico		
LITOLOGÍA: Tobas alteradas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Construcciones dispersas/Caminos		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Quercus centralis</i>	3	2
<i>Quercus obtusata</i>	3	2
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Eupatorium glabratum</i>	3	3
<i>Eupatorium pycnocephalum</i>	2	2
<i>Prunus capuli</i>	1	1
<i>Amelanchier denticulata</i>	1	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Quercus obtusata</i>	+	1
<i>Eupatorium glabratum</i>	+	1
<i>Eupatorium pycnocephalum</i>	+	1
<i>Amelanchier denticulata</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Eupatorium glabratum</i>	1	2
<i>Festuca sp.</i>	1	1
<i>Eupatorium pycnocephalum</i>	+	1
<i>Eupatorium sp.</i>	+	1
Musgo	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

IX4. La geofacies del bosque de encinos (*Quercus spp.*) con pino chino (*Pinus Leiophylla*) y sotobosque de hilo (*Eupatorium glabratum*) sobre luvisol crómico en laderas tendidas de solana intervenidas y con fuerte desequilibrio estructural.

Corresponde esta geofacies con los bosques de las laderas tendidas que fueron parcialmente deforestadas para la apertura de campos agrícolas y que hoy acusan un fuerte desequilibrio hidrológico, de tan alto grado que desemboca en una intensa actividad morfogenética por acarcavamiento de los luvisoles. Los encinares son de fisionomía variada, tan pronto ralos como intercalados con pequeños claros o bien, como en la mayoría de las veces, formando masas densas y de estructura compleja. En la pirámide de vegetación correspondiente se observa un solo estrato arbóreo poco alto y formado por tres o cuatro variedades codominantes de encinos entre los que destaca por su afinidad con ambientes desfavorecidos de la base de la sierra el encino prieto (*Quercus laeta*). Particularmente significativo desde un enfoque ecológico es el pino chino (*Pinus Leiophylla*) que siendo un elemento distintivo de la franja de vegetación de “transición”, en este caso de fuerte alteración es un elemento muy favorecido, sobre todo por ciertas prácticas de reforestación ya que es utilizado para controlar la erosión del suelo, aunque con resultados poco satisfactorios.

El sotobosque está colmado de fitoindicadores del deterioro edáfico y de la deficiente disponibilidad de agua como es el caso del madroño (*Arbutus xalapensis*), que es común en bosques alterados y el hilo (*Eupatorium glabratum*), además de otras variadas gramíneas y la ruderal *Salvia fulgens*. Y si bien todos los estratos de la formación muestran una dinámica progresiva, resulta evidente que se trata de un falso equilibrio, ya que este manto vegetal más bien abierto resulta insuficiente para proteger al suelo de los acarcavamientos, siendo entonces este tipo de vegetación una antesala previa al establecimiento de los sistemas erosivos intensos.

GEOFACIES: IX _a	Bosque de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con pino chino (<i>Pinus Leiophylla</i>) y sotobosque de hilo (<i>Eupatorium glabratum</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Santa María Mazatla	
ALTITUD (msnm): 2670	PENDIENTE: 22°	EXPOSICIÓN: Solana (Suroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Cabecera de barranco, vertiente al río Xinté		
SUELO: Vertisol crómico		
LITOLOGÍA: Piroclastos de textura fina		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Terrenos abandonados por erosión del suelo		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
Quercus rugosa	3	1
Quercus disophylla	2	2
Quercus laeta	4	2
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
Pinus Leiophylla	1	1
Quercus rugosa	+	1
Quercus disophylla	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Eupatorium glabratum	3	3
Quercus disophylla	1	1
Arbutus xalapensis	1	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Arbutus xalapensis	+	1
Trifolium sp. FAMILIA?	+	1
Stevia salicifolia	+	1
Eupatorium glabratum	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Gramínea tipo avena	4	4
Musgo	1	2
Festuca sp.	1	3
Quercus laeta	+	1
Arbutus xalapensis	+	1
Lamourouxia tenuifolia	+	1
Lamourouxia multifida	+	1
Salvia fulgens	+	2
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	

**IX₅. La geofacies del matorral de hilo (*Eupatorium glabratum*) con encino
tezahuatl (*Quercus mexicana*), pino chino (*Pinus Leiophylla*), madroño
(*Arbutus xalapensis*) y nopal (*Opuntia sp.*) sobre secuencias de andosol
háptico en las franjas divisorias.**

Es un matorral poco extendido y de poca posibilidad de expansión que evoluciona en las angostas franjas interfluviales y en la cima del “cerro” Chiluca, sobre antiguas parcelas agrícolas que han sido abandonadas y que ahora exhiben un incipiente grado de recuperación. Son también la comunidad más frecuente en el borde de los bosques de la geofacies IX₁, estando sujeto a acciones como el sobrepisoteo y el maltrato de las plantas pero sin llegar, no obstante, al alto grado de perturbación y de desarticulación estructural que se tiene sobre los luvisoles de la geofacies IX₄. Efectivamente, los andosoles de esta unidad son de estructura más firme y oponen mayor resistencia, permitiendo una más sentida y prolongada estabilidad que se refleja en las comunidades vegetales. Así, tras la degradación forestal el hilo (*Eupatorium glabratum*) se expande con gran profusión para conformar un manto denso de talla subarborescente y del que sobresalen ejemplares dispersos encinos, pino chino y madroño. Del grupo de los encinos el tezahuatl (*Quercus mexicana*) es el que ha mostrado mayor resistencia al deterioro ambiental y por tanto es el más representativo junto a madroños y nopales (*Opuntia sp.*).

Además, en los estratos inferiores de la pirámide IX₅ llama la atención el predominio de otras plantas tolerantes a ambientes alterados y entre las que dominan el madroño (*Arbutus xalapensis*) y el capulín (*Prunus capuli*), algunas ruderales como *Tagetes lucida* y *Stipa ichu*, además de otras naturalizadas de crecimiento espontáneo como la *Poa annua*. Es entonces una comunidad -si bien estable y de dinámica progresiva en todos los estratos vegetales- que refiere ambientes muy alterados sean progresivos o regresivos pero que en todo caso están sujetos a una gran presión por parte de una intensa actividad humana.

GEOFACIES:IX ₅		Matorral de hilo (<i>Eupatorium glabratum</i>) con encino tezahuatl (<i>Quercus mexicana</i>), pino chino (<i>Pinus Leiophylla</i>), madroño (<i>Arbutus xalapensis</i>) y nopal (<i>Opuntia sp.</i>)	
FECHA: Febrero/97		LUGAR: Chiluca	
ALTITUD (m): 2810		PENDIENTE: 10°	EXPOSICIÓN: Solana (Noroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Superficie del cerro Chiluca			
SUELO: Andosol háplico			
LITOLOGÍA:Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas			
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Aclarado de bosque para pastoreo/Construcciones/Veredas			

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Arbutus xalapensis</i>	+	1
<i>Pinus Leiophylla</i>	+	1
<i>Quercus mexicana</i>	1	1
<i>Opuntia sp.</i>	1	2
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Eupatorium glabratum</i>	3	3
<i>Tagetes lucida</i>	1	3
<i>Baccharis conferta</i>	+	2
<i>Quercus mexicana</i>	+	1
<i>Quercus rugosa</i>	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Stipa ichu</i>	4	5
<i>Opuntia sp.</i>	1	2
Gram. tipo tomillo	1	2
<i>Arbutus xalapensis</i>	1	1
Musgo	+	2
<i>Agrostis sp.</i>	+	2
<i>Poa annua</i>	+	2
<i>Baccharis conferta</i>	+	1
<i>Prunus capuli</i>	+	1
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	

IX₆. La geofacies del zacatal de *Setaria geniculata* con verónica (*Verónica peregrina*) sobre secuencias de andosol háplico y luvisol crómico en las franjas divisorias y laderas tendidas de solana.

Los zacatales son comunidades ampliamente extendidas que representan la fase inicial de recuperación biótica de las parcelas agrícolas abandonadas y por tanto, que aún mantienen un fuerte desequilibrio geoecológico. Se trata de un recubrimiento herbáceo más bien abierto y efímero de *Setaria geniculata* y

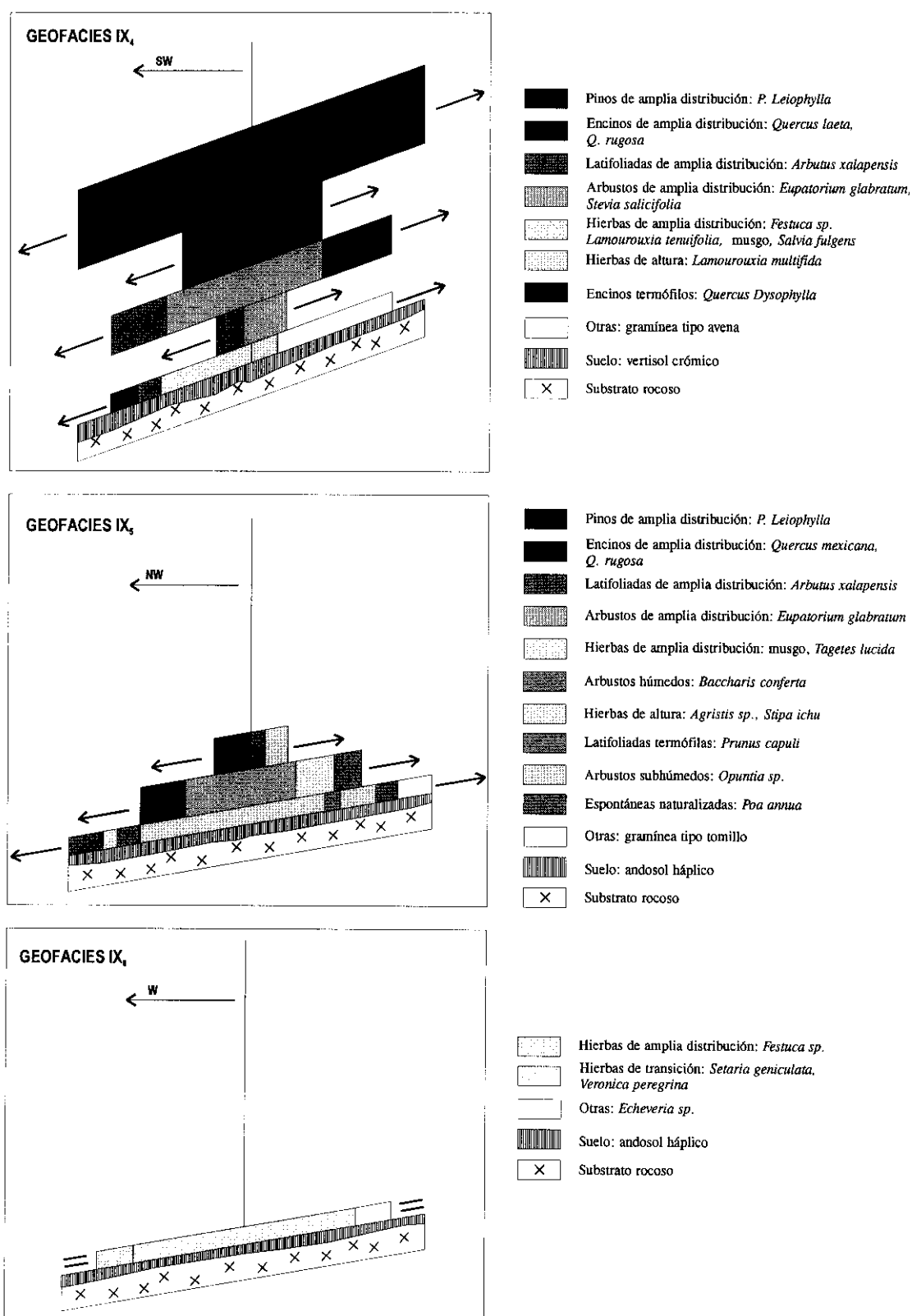


Figura 10.29. Pirámides de vegetación IX₄, IX₅ y IX₆.

Verónica peregrina, plantas éstas que tienen una a afinidad especial por los ambientes de “transición” entre montaña y rampa. La protección que brinda este manto vegetal a las superficies parcialmente desnudas del suelo es escasa y salvo el caso de algunos pastizales colocados en condiciones topográficas y edafológicas más favorables, la mayoría tienen alto riesgo de acarcavamiento - sobre todo cuando evolucionan sobre luvisoles crómicos-, siendo por tanto una geofacies que antecede a otras de intensa actividad erosiva.

GEOFACIES:IX ₆	Zacatal de <i>Setaria geniculata</i> con verónica (<i>Verónica peregrina</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Chiluca	
ALTITUD (msnm): 2820	PENDIENTE: 10°	EXPOSICIÓN: Solana (Oeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Cima del cerro Chiluca		
SUELO: Andosol háplico		
LITOLOGÍA: Mantos cineríticos sobre acumulaciones lávicas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Aclarados para pastoreo, Construcción/ Camino/ Pista de aviación		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Setaria geniculata</i>	4	5
<i>Veronica peregrina</i>	4	5
<i>Festuca sp.</i>	1	2
<i>Echeveria sp.</i>	1	1
Abundancia: 4	Dinámica: Estable	

IX₇. La geofacies de las superficies de cultivo sobre secuencias de luvisol crómico, andosol háplico y fluvisol eútrico en divisorias, laderas tendidas de solana y superficies aluviales.

La apertura de campos agrícolas en esta porción media de la rampa Norte fue en las pasadas décadas un proceso intenso y principal hilo conductor de la deforestación en la práctica totalidad de las superficies mejor expuestas y de topografía regular que representan más del 50 % de las tierras. Pero además de las graves y variadas implicaciones geoecológicas asociadas a los cambios de uso de suelo, la gran intensidad del proceso tuvo consecuencias magistrales y casi inmediatas que se resumen en un quiebre de la estabilidad edáfica sobre luvisoles que hoy están en gran medida afectados por los ya citados acarcavamientos y otros fenómenos de gravedad. La actividad agrícola continúa siendo, no obstante, uno de los principales aprovechamientos y consiste en el

cultivo semipermanente de productos anuales básicos como el maíz, el frijol y la avena forrajera, en su mayor parte destinados al comercio con el exterior.

IXs. La geofacies de las superficies perturbadas y sin recubrimiento vegetal afectadas por acaravamiento y otros fenómenos de gravedad, o por acciones antrópicas en los entornos a los pueblos rurales y ejes de infraestructura.

Según se ha dicho anteriormente, un aspecto básico del funcionamiento del geosistema IX es el creciente predominio de la morfogénesis sobre las laderas tendidas de solana en el interior de los valles disimétricos, donde se concentra la mayor parte de las superficies desnudas en el interior de las cárcavas y *badlands*. La morfología suavemente tendida de estas laderas, aunado a la alta capacidad de absorción de humedad de los luvisoles crómicos son los factores básico que explican el fuerte proceso erosivo, y el motor catalizador la tala y apertura de campos agrícolas. En menor grado, otros espacios carentes de recubrimiento vegetal se forman por acciones antrópicas que en este caso se refieren a la apertura de tajos y acumulación de escombreras para la construcción de habitaciones, para el emplazamiento de caminos y otras obras de infraestructura (cableado, canales, etc.), así como a la apertura de minas de extracción a cielo abierto.

10.2.9.1. La serie del encinar con pino chino de la parte media de la rampa Norte.

La secuencia de geofacies que definen la evolución de este sistema natural está condicionada por dos aspectos fundamentales. Por una parte hay que tener presente que el potencial natural de esta porción media de la rampa está en el margen de los requerimientos básicos de algunas pináceas y por otra parte, que la fuerte entrada que tuvo la actividad agrícola en las décadas pasadas exacerbó dicha adversidad natural del medio ante ciertas especies muy sensibles, causando la desaparición de los oyameles que hoy no se adentran más en estas vertientes.

El clímax actual corresponde con los bosques mixtos de encinos, pino chino y madroño (geofacies IX₁) que en pasado histórico debieron cubrir la mayor parte de este territorio, apenas interrumpidos por algunos encinares y abetales puros. Las fases primarias de la evolución natural consisten en procesos graduales que llevan a la sustitución de estas comunidades mixtas por encinares puros, mejor adaptados a los ambientes menos húmedos y menos fríos propios de este sector alto de la rampa. En un principio la sustitución lleva a la desaparición del elemento más frágil, el pino chino, y a la conformación de un encinar con tejocote (geofacies IX₂) que coloniza sobre enclaves cobijados que aun mantienen buenas condiciones de humedad y frescura, y posteriormente a un encinar menos favorecido con eupatorium (geofacies IX₃), característico de las laderas altas y otros enclaves expuestos.

Pero desde que la apertura de campos agrícolas adquirió notas mayúsculas sobre todo en las vertientes tendidas de solana, la eliminación de las comunidades mixtas que las colonizan aconteció con gran rapidez, causando esto un fuerte desequilibrio ecológico y la catalización de una morfogénesis intensa por acarcavamientos. A raíz de ello, en las últimas décadas la actividad agrícola ha venido a menos y en la actualidad premia el abandono de terrenos agrícolas y la regeneración biótica tendente a la recuperación del *status* original. La secuencia sucesional inicia con una pronta colonización de las parcelas dejadas por un zacatal de *Setaria geniculata* y *Veronica peregrina* (geofacies IX₆) que tiende a evolucionar con mayor insistencia en los bordes de bosque, donde se aprecian orlas de un matorral en el que ya aparecen los primeros encinos de variedades resistentes, además de madroños y pinos (geofacies IX₅). Una facies posterior de la recuperación biótica consiste en una evolución firme de los encinos y del pino chino que cuentan ya con un sotobosque denso de hilo (geofacies IX₄).

A pesar de que no ha transcurrido el suficiente tiempo para observar si a partir de estos últimos tiempos de intensa actividad humana el retorno a la facies clímax (geofacies IX₁) se completa, es posible suponer que existe una gran dificultad en ello, ya que no obstante que la mayoría de las geofacies son indicativas de una franca progresión evolutiva del conjunto geosistémico, grandes masas de encinares con pino chino de la geofacies IX₄ que colonizan sobre los luvisoles de las laderas tendidas están sujetos a un fuerte peligro por acarcavamiento. Se observa en algunas parcelas reforestaciones que

evidentemente no han tenido éxito y la tendencia a largo plazo es hacia una desaparición de estas comunidades mixtas, es decir, existe un estado de fuerte desequilibrio ecológico y de transición hacia nuevas tendencias evolutivas que miran hacia un dominio absoluto de los encinares como comunidad vegetal potencial del sistema, implicando con ello una más que evidente pérdida de la riqueza biótica con que cuenta este sector de la vertiente.

10.2.10. El geosistema X, fresco y semihúmedo de la parte inferior de las rampas Norte y Centro-Sur, con encinares, abandono del aprovechamiento agro-silvo-pastoril y ocupación habitacional dispersa.

Los dos sectores de la base de la sierra que han sido agrupados bajo este rubro coinciden en mostrar un potencial ecológico similar. Se modelaron sobre las tobas volcánicas y los piroclastos plio-cuaternarios y detritos de textura gravosa o más fina, porosos y poco cohesivos que representan la franja de transición entre el piedemonte volcánico y el piedemonte detrítico, que laderas abajo se prolonga por debajo de la ciudad hasta enlazar con el fondo de la cuenca.

Si bien el modelado cuaternario desarrollado en ellos consistió fundamentalmente en una redistribución de los materiales superficiales y en el consecuente alisamiento de las superficies, éstas fueron asimismo disecadas por una red de barrancos que en todo caso reflejan la influencia de una morfología poco prominente: cursos divagantes e incluso meandriformes y pequeñas superficies de relleno aluvial que en ocasiones adquieren grandes dimensiones, como el valle de fondo plano del río San Pedro. Son, por otra parte, sectores poco tectonizados por los sistemas de fracturación más recientes, lo que permitió un estilo de encajamiento más gradual y en el que se exhibe mayor insistencia en las incisiones sobre las márgenes más próximas al nivel de base de la cuenca, configurándose un paisaje “alomado” de valles disimétricos, algo mas agreste en la rampa Centro-Sur que en la Norte.

La influencia orográfica de la vertiente sobre los vientos del noreste es aún incipiente en estos sectores bajos, derivándose de ello ambientes frescos y semihúmedos, con temperaturas medias anuales aún por debajo de 15° C,

aunque ya pueden superarse los 18° C de media durante los meses del verano; las precipitaciones, siempre inferiores a 1200 mm, pueden descender hasta volúmenes anuales cercanos a los 800 mm, francamente moderados y que además se concentran en un período corto de cinco meses. Este decremento de los aportes pluviales y el aumento de las temperaturas durante gran parte del año lleva a una reducción de la ETR, que se aleja en más de 100 mm anuales de la ETP, definiéndose ya la existencia de una temporada de sequía (bien marcada por deficiencias hídricas anuales del orden de unos 100 mm).

Pero, no obstante el bajo valor de las escarnecías -de 200 a 400 mm anuales-, éstas tienen gran incidencia sobre todo el sistema natural. Por una parte, la circulación de los excedentes hídricos dentro del sistema es muy rápida y el recurso se pierde con facilidad -transportado en flujos superficiales y epidérmicos- antes de ser aprovechado por los componentes bióticos del medio. Y por otra, el régimen altamente torrencial de los flujos divagantes y canalizados activa de forma esporádica pero con gran intensidad la dinámica geomorfológica, lo que tiene importantes consecuencias en el modelado de las laderas, así como en la evolución de los valles y permite inundaciones al pie de la sierra; también, en segundo término, facilita los asentamientos y reptaciones del terreno, que se desencadenan tras el breve embebecimiento de los materiales en tiempo de lluvias. Hay que señalar que esta dinámica erosiva está, en términos generales, atenuada por el menor declive de la rampa, siendo posible en el paisaje abarrancado una notable fitoestabilización natural, que solamente resulta contrarrestada por la fuerza inestabilizante de las acciones del hombre. Sólo en la rampa Norte los cursos principales (ríos Cuautitlán, San Pedro y Xinté) son de régimen semipermanente, por lo que en sus valles las incorporaciones hídricas y los efectos geomorfológicos son más moderados.

Las series de suelos de estos sectores bajos de la rampa se cuentan entre las más variadas y responden en principio a los contrastes topográficos, estando entre los suelos más representativos los regosoles eútricos que se extienden con amplitud en el interior de los barrancos, mientras que los luvisoles crómicos dominan sobre las laderas tendidas de las porciones septentrionales de la sierra. Otras unidades edáficas menos comunes se intercalan, dependiendo de los condicionamientos impuestos por el contenido litológico (andosoles y leptosoles)

o del emplazamiento en los entornos de ríos (fluvisoles) o en áreas de fuerte impacto antrópico (antrosoles).

Por su parte, la vegetación responde a la ubicación de estas áreas dentro del piso vegetal pedemontano, caracterizado por el dominio absoluto de los bosques de encino y por la ausencia de elementos o formaciones (como las pináceas y los matorrales húmedos) que no toleran las bajas condiciones pluviales y los niveles térmicos relativamente altos. Sin embargo, los encinares que hasta un pasado próximo debieron constituir un manto, si bien abierto, ampliamente extendido y más o menos continuo, con la introducción de las actividades agropecuarias han sido sistemáticamente eliminados de las superficies aplanadas y convexas de las lomas, donde se emplazaron la mayoría de los campos agrícolas, permaneciendo refugiados desde aquel entonces en el interior de los barrancos -solo en las márgenes de ataque en el caso de los valles disimétricos-, que se han constituido así en verdaderos nichos ecológicos, hoy profusamente alterados en su contenido estructural pero de gran riqueza e importancia paisajística.

Pese a la intrínseca resistencia y a la capacidad de regeneración de los encinares, se enfrentan a unos impactos que las superan y que derivan del hecho de dar frente a la expansiva superficie urbana con la que limitan. A partir de la década de los sesenta el antiguo sistema de usos agropecuarios fue trastocado por la presión del crecimiento urbano sobre estas tierras: los campos de cultivo fueron -y continúan siendo- sistemáticamente abandonados y luego incorporados a la mancha urbana mediante complejos procesos de ocupación, entre los que destaca la densificación gradual de la ocupación con importante participación de las inmigraciones que -fuera del control gubernamental- se distribuyen dispersos en las laderas. Las ya numerosas nuevas vías de acceso, como la autopista La Venta-Lechería, el paso de líneas de cableado, el emplazamiento de canteras de extracción de material lítico y los numerosos cortes realizados en el terreno son fenómenos comunes que atestiguan y favorecen el expansionismo poblacional y el alto grado de alteración que ha sufrido el medio como consecuencia de las actividades del hombre.

Pese a todo, el potencial ecológico del sistema natural es alto y se manifiesta con particular claridad en los campos baldíos, que parecen estar en un aparente letargo que antecede a su incorporación a la urbe. En ellos se aprecia una

destacable recuperación fitológica que parece dirigirse sin embargo a la conformación de una cubierta distinta de la original. Destacan las pérdidas en biodiversidad fitológica y paisajística, ya que no obstante la aparición de nuevos elementos ruderales y arvenses introducidos tras las actividades del hombre e incluso de otros ajenos -como eucaliptos y pirules- que han sido introducidos como elemento ornamental o como medio para procurar una recuperación de la estabilidad ecológica, el mayor peso lo cobran las grandes masas vegetales extintas entre las cuales debe estar incluido un amplio número de especies que no crecen más en este sector de la sierra. Es pues un sistema que tiende hacia la homogenización paisajística -hoy consistente en tan solo cinco estados distintos del geosistema- y que mediante la eliminación casi rutinaria de amplios espacios naturales que son absorbidos por el subsistema de usos y aprovechamientos rural-urbanos, está sujeto a una ya importante y creciente reducción de la superficie que ocupa en la vertiente

XI. La geofacies del bosque alterado de encinos (*Quercus spp.*) con sotobosque de eupatorium (*Eupatorium spp.*), sobre secuencias de andosol úmbrico y regosol eútrico en laderas de valles y barrancos intervenidos.

Corresponde este estadio del geosistema con el interior de enclaves particularmente resguardados que por lo general coinciden con los fondos de algunos barrancos muy incididos o que están colgados en la parte más alta de la vertiente, en el área de su contacto con los valles de los geosistemas VIII y IX, siendo dentro de este sistema la facies que más se aproximan al que suponemos fuere el máximo potencial vegetal de este sector bajo de la sierra. Se trata de encinares de gran talla y cobertura aunque de baja densidad y porte frágil, que cuentan con dos a tres especies del género *Quercus* entre las que destacan por su afinidad con ambientes templados y semisecos el encino negro (*Quercus castanea*) y *Q. centralis*. La estructura arbórea es sencilla y por debajo del dosel de los arboles mayores solo se tienen algunos ejemplares arborescentes dispersos, pero de gran significado para la continuidad de la formación.

En la pirámide de vegetación correspondiente a este encinar llama la atención el parecido de sus sotobosques con los de otros encinares bien conservados de las rampas altas. Consisten en mantos de baja talla y más bien abiertos, pero en

sumo enriquecidos con una decena de plantas arbustivas que en este caso son de crecimiento rápido y resistentes a medios adversos como los eupatorium y ,menos representativas aunque de gran significado ecológico, como los tepozanes (*Buddleja americana*) y las escobillas (*Baccharis ramulosa*), indicadores de deterioro ambiental y el último de ellos, de déficits hídricos. Se trata pues, de enclaves con alta capacidad de retención de humedad pero inestables y consecuentemente sujetos a intensos lavados y en su caso arroyamientos veraniegos, pero que exhibe también una tendencia si bien no de franca recuperación, que tiende a recuperar con cierta prontitud los daños debidos a la dinámica natural o humana.

GEOFACIES: X ₁	Bosque alterado de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de eupatorium (<i>Eupatorium spp.</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Plan de Ayala	
ALTITUD (msnm): 2476	PENDIENTE: 22°	EXPOSICIÓN: Solana (Sur)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Interior de barranco inestable, vertiente al arroyo Canaleja		
SUELO: Andosol háplico		
LITOLOGÍA: Piroclastos de textura gravosa o más gruesa		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Terrenos sin uso aparente/Remoción de tierra		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO SUPERIOR		
<i>Quercus centralis</i>	3	1
<i>Quercus castanea</i>	2	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Quercus centralis</i>	2	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Eupatorium sp.</i>	2	2
<i>Buddleja americana</i>	+	1
<i>Baccharis ramulosa</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Gramínea	2	2
<i>Bouteloua sp.</i>	+	2
<i>Eupatorium sp.</i>	1	1
<i>Buddleja americana</i>	+	1
<i>Adiantum andicola</i>	+	1
<i>Eupatorium petiolare</i>	+	1
<i>Senecio actinella</i>	+	1
Leguminosa	+	1
<i>Geranium mexicanum</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	

X₂. La geofacies del bosque muy alterado de encinos (*Quercus spp.*) con sotobosque de eupatorium (*Eupatorium spp.*), tepozán (*Buddleja cordata*) y escobilla (*Baccharis sordescens*), sobre secuencias de andosol úmbrico, regosol eútrico y antrosol úrbico en laderas de valles y barrancos muy intervenidos y con fuerte desequilibrio estructural.

Otra variante de los encinares coloniza las laderas de algunos valles y barrancos poco profundos que, habiendo sido objeto de mayores perturbaciones que los encinares del caso anterior, están hoy definidos por graves deficiencias hídricas y altos niveles de contaminación que les suponen fuertes desequilibrios estructurales y una frágil estabilidad. La formación vegetal típica mantiene una cierto parecido con otros encinares alterados de las rampas altas -del geosistema IX- y como se observa en la pirámide de vegetación correspondiente a este tipo de cobertura consiste en bosques de talla mediana -que no superan los 15 m- y estructura arbórea sencilla aunque con sotobosques densos y diversificados. Predominan pues encinos con afinidad por ambientes frescos y húmedos propios de la franja de vegetal “de transición” como *Quercus conglomerata* y *Q. glabrescens*, cuya presencia se debe a la penetración en este geosistema de elementos vegetales que están mejor definidos y son propios de otros sistemas naturales. Otros encinos también frecuentes son poco especializados y de amplia cobertura como el encino laurel (*Q. crassipes*).

En contraste con la simpleza estructural del estrato arbóreo llama la atención la diversidad y amplia cobertura de los sotobosques, en los que además y como era de esperar hay importante representación de plantas fitoindicadoras del deterioro ecológico, entre las que predominan el eupatorium (*Eupatorium glabratum*) indicativo de sequedad y contaminación, el tepozán (*Buddleja cordata*), la escobilla (*Baccharis sordescens*), el capulín (*Prunus capuli*) y otra variedad del eupatorium (*E. petiolare*), todas ellas plantas de humedad que son frecuentes en ámbitos alterados. Son pues enclaves cobijados y con alta capacidad de retención de humedad al nivel del suelo, pero visiblemente contaminados y afectados por arroyamientos y reptaciones que los sitúan en una dinámica dominada por la degradación ecológica, con mayores consecuencias negativas sobre la evolución de los sotobosques y los renuevos del encino.

GEOFACIES: X ₂	Bosque muy alterado de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de eupatorium (<i>Eupatorium spp.</i>), tepozán (<i>Buddleja cordata</i>) y escobilla (<i>Baccharis sordescens</i>),	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Nicolás Romero	
ALTITUD (msnm): 2510	PENDIENTE: 15°	EXPOSICIÓN: Umbría (Norte)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera inferior de barranco, vertiente al río Cuautitlán		
SUELO: Andosol háplico		
LITOLOGÍA: Tobas líticas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Movimiento de tierra/Veredas/Cercas/Construcciones dispersas		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Quercus crassipes</i>	3	1
<i>Quercus conglomerata</i>	1	1
<i>Quercus glabrescens</i>	1	1
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Eupatorium glabratum</i>	2	2
<i>Eupatorium petiolare</i>	2	2
<i>Buddleja cordata</i>	2	1
<i>Baccharis sordescens</i>	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Eupatorium petiolare</i>	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Tendencia progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Festuca sp.</i>	3	2
Gramínea	2	2
Musgo	1	3
<i>Prunus capuli</i>	+	1
<i>Baccharis conferta</i>	+	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	

X₃. La geofacies del zacatonal de *Muhlenbergia robusta* con encinos (*Quercus spp.*), romerillo (*Verbesina virgata*) y maguey (*Agave ferox*), sobre secuencias de andosol háplico, leptosol lítico y regosol eútrico en franjas divisorias y laderas altas de valle.

Refiere esta geofacies uno de los zacatonales mejor adaptados y por ende indicadores de ambientes poco lluviosos, templados y por ende que registran altos déficits hídricos durante un periodo largo del año. Su origen está vinculado con un proceso ya antiguo que lleva al abandono sistemático de antiguas parcelas agrícolas que con el tiempo han sido colonizadas por esta modalidad de zacatal

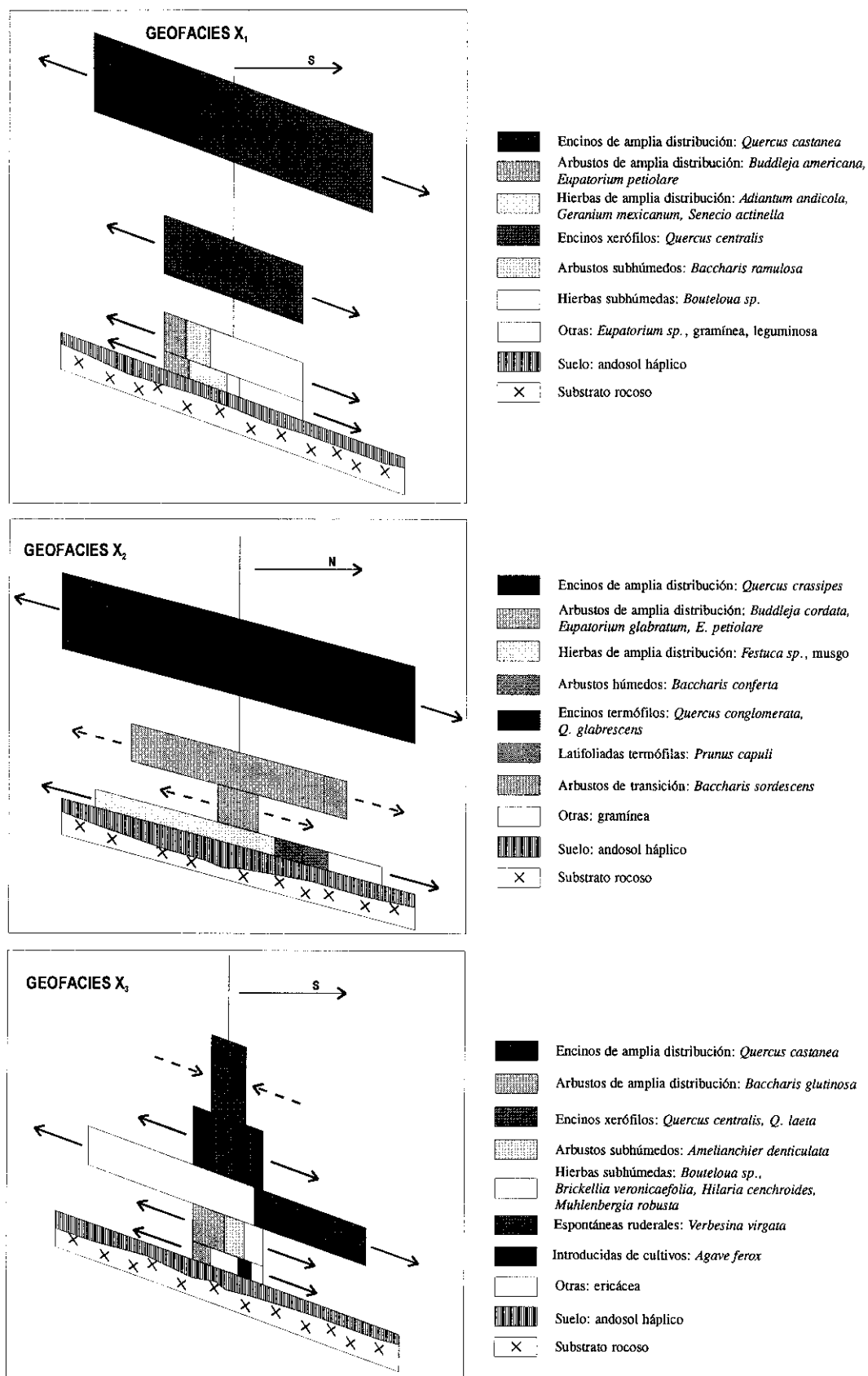


Figura 10.31. Pirámides de vegetación X_1 , X_2 y X_3 .

de *Muhlenbergia robusta* y romerillo (*Verbesina virgata*). No obstante que es una geofacies pionera, en la pirámide de vegetación correspondiente llama la atención la existencia de encinos achaparrados que no pueden considerarse vestigios de los antiguos encinares sino ejemplares nuevos que no han logrado evolucionar satisfactoriamente. Estos ejemplares arbóreos de afinidades semiáridas como son el encino negro (*Quercus castanea*), encino prieto (*Q. laeta*) y *Q. centralis*, se distribuyen dispersos junto con algunos romerillos y magueyes de talla arborescente.

GEOFACIES: X ₃	Zacatonal de <i>Muhlenbergia robusta</i> con encinos (<i>Quercus spp.</i>), romerillo (<i>Verbesina virgata</i>) y maguey (<i>Agave ferox</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Plan de Ayala	
ALTITUD (msnm): 2473	PENDIENTE: 22°	EXPOSICIÓN: Solana (Sur)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Interior de barranco vertiente al arroyo Canleja		
SUELO: Andosol háplico		
LITOLOGÍA: Piroclastos de textura gravosa o más gruesa		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Terrenos sin uso aparente		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Quercus laeta</i>	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Verbesina virgata</i>	1	2
<i>Quercus castanea</i>	1	1
<i>Quercus centralis</i>	1	1
<i>Agave ferox</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Muhlenbergia robusta</i>	3	3
<i>Verbesina virgata</i>	2	3
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Baccharis glutinosa</i>	1	2
<i>Ericacea</i>	+	1
<i>Amelanchier denticulata</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Hilaria cenchroides</i>	1	2
<i>Baccharis glutinosa</i>	1	1
<i>Verbesina virgata</i>	+	1
<i>Ericacia</i>	+	1
<i>Brickellia veronicaefolia</i>	+	1
<i>Bouteloua sp.</i>	+	2
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

La mayor dificultad que limita la evolución de los encinos de esta geofacies se explica en principio por las reiteradas intervenciones antrópicas, que además se reflejan el predominio de una flora resistente a la sequedad de los suelos agrietados y afectados por sobre pisoteo y a la contaminación ambiental y que incluye entre los componentes más representativos al mismo romerillo (*Verbesina virgata*), una variedad de escobilla de hojas pequeñas y pegajosas (*Baccharis glutinosa*) y *Brickellia veronicaefolia*. Algunos pastos de *Hilaria cenchroides* y *Bouteloua sp.* son también representativos de las faldas de la sierra.. Es entonces una geofacies alterada y desequilibrada que ve grandes problemas para la regeneración de los elementos florísticos más exigentes que colonizan los campos abiertos, máxime porque continúan sujetas a las presiones antropógenas que en mayor o menor medida condicionan la continuidad de este tipo de pastos hasta que acaban invadidos por la mancha urbana.

X4. La geofacies de las superficies de cultivo sobre secuencias de luvisol crómico, andosol háplico y fluvisol eútrico en divisorias, laderas tendidas de solana y superficies aluviales.

Las actividades agrícolas que llevaron a la roturación de las franjas divisorias y de las laderas tendidas de los valles disimétricos, han entrado en las últimas décadas en un proceso de recesión a costa de un crecimiento cada vez más notable del mercado inmobiliario. Debido a este cambio en la dinámica rural-urbana, ocurre un sistemático abandono de los antiguos campos que así se incorporan a la geofacies X₅ o inclusive son absorbidos por los usos habitacionales. Las pocas parcelas que continúan activas se distribuyen en las crestas, los fondos de valle y en las laderas tendidas, en pequeñas parcelas dedicadas a la producción de cultivos anuales típicos del área -sobre todo maíz y frijol para autoconsumo y pequeño comercio-, además de algunas grandes superficies que cuentan con sistemas riego para la producción y comercio de maíz, frijol, avena forrajera y alfalfa.

Xs. La geofacies de las superficies abarrancadas y otros enclaves perturbados y sin recubrimiento vegetal de los entornos a los pequeños núcleos de población dispersa y ejes de infraestructura.

Según se ha comentado la actividad modeladora de este sector de la vertiente es alta y con ello la apertura de espacios carentes de recubrimiento vegetal debidos a abarrancamientos y a otros fenómenos gravitacionales que operan en el interior de las barrancas. Pero la fuerte expansión que esta geofacies ha mostrado en las últimas décadas se debe en prima instancia a las actividades antrópicas que implican la remoción del suelo y de los materiales del sustrato, entre las que destacan los cortes de gran escala y acumulación de escombreras para el emplazamiento de grandes infraestructuras -como en la reciente autopista que atraviesa la sierra de norte a sur-; la apertura de tajos para la extracción de material lítico en minas a cielo abierto, además de una amplia superficie diseminada en pequeños enclaves que siempre acompañan a los usos habitacionales.

10.2.10.1. La serie del encinar de la parte inferior de las rampas Norte y Centro-Sur.

La dinámica interna del geosistema X está controlada por dos aspectos básicos de la geoecología de este sector de la sierra. Por una parte su ubicación en la franja basal de la rampa de enlace le condiciona con bajos niveles de lluvia y altas térmicas que se resuelven en serias restricciones hídricas durante una periodo amplio, durante el cual la resequedad superficial -ya favorecida por la alta capacidad de infiltración- adquiere notas muy altas que solo son toleradas por algunos encinares especializados. Pero los aspectos más directos e influyentes de la dinámica actual de la vegetación dependen de los patrones dinámicos asociados al subsistema rural-urbano ya que -como se ha dicho antes- mantuvo hasta por lo menos el primer tercio de este siglo una actividad fundamentalmente agrícola bajo la cual se llevó a la deforestación y roturación de una amplia superficie y con ello exacerbó la sequedad ambiental, con la consecuente degradación de los encinares que hoy están reprimidos en el interior de los valles y sujetos a una dinámica de tipo regresivo.

La comunidad vegetal clímax original que pudo existir hasta antes de los desequilibrios causados por la actividad agrícola ha sido eliminada y parece no haber vestigios de ella, siendo en la actualidad la comunidad más evolucionada sobre estas vertientes la que corresponde con los encinares altos con sotobosque de eupatorium de la geofacies X_1 que recubre los fondos de valle y otros enclaves muy resguardados. Como se ha dicho antes, estos bosques muestran ya indicios del deterioro ambiental, por lo que convenientemente se le puede designar como “geofacies de sustitución”. La evolución regresiva de estos encinares lleva a la apertura de nuevas facies de mayor alteración que suelen corresponder con los bosques de los bordes de barrancos que colindan con las áreas de cultivo, caracterizados por encinares de sotobosques más amplios de eupatorium, tepozán y escobilla (geofacies X_2). Y finalmente, la geofacies que marca el final de la serie degradativa natural es el matorral de *Muhlenbergia robusta* y romerillo con encinares dispersos (geofacies X_3) que recubren las antiguas parcelas agrícolas abandonadas.

Si bien en la actualidad los desmontes con fines agrícolas tienen un rol cada vez menos significativo en la dinámica geosistémica, el daño causado por esta actividad en el pasado histórico se traduce hoy en serias perturbaciones hidrológicas y geomorfológicas que incentivan la regresión natural y que aunadas a las ya intensas actividades rural-urbanas llevan a la apertura de espacios desnudos y muy desequilibrados que constituyen los focos de mayor degradación (geofacies X_5). La regeneración biótica de las parcelas abandonadas es posible bajo condiciones de estabilidad que se dan en tiempos breves, durante los cuales se establece la primera geofacies de recuperación (geofacies X_3), aunque el proceso suele ser truncado por efecto de las reiteradas perturbaciones antes de que el ciclo progresivo se complete.

Pero el aspecto más dramático proviene del hecho de que las actividades humanas en el área adquieren connotaciones muy elevadas que les llevan a tomar el control del funcionamiento del medio. De esta forma las mayores y más significativas líneas de la evolución actual de esta sistema natural están condicionadas por una intensa y grave eliminación de los antiguos campos agrícolas y de los bosques bajo la fuerza expansiva de la urbe, el emplazamiento de grandes obras de infraestructura o la lenta formación de una muy extendida malla de habitación dispersa en toda la vertiente. Efectivamente, este sistema es

con el geosistema XII uno de que exhiben mayor reducción de su superficie debido a estas causas y se estima que bajo el actual sistema de transformaciones se llegue a una pronta pérdida de la exigua riqueza forestal que aún soporta.

10.2.11. El geosistema XI, templado y subhúmedo de la parte inferior de la rampa Centro-Norte, de la sierra del Tigre y del “cerro” Totoltepec, con encinares bajos, abandono del aprovechamiento agro-silvo-pastoril y ocupación habitacional dispersa.

Un sector de la base del territorio pedemontano se desarrolla sobre depósitos vulcanoclásticos de textura gravosa o más fina que resultaron profusamente dislocados por la tectónica de rumbo SW-NE -en particular por el Sistema de Fracturaciones Central-, estando su substrato desmembrado por los resaltes estructurales poco prominentes de la sierra del Tigre y del “cerro” Totoltepec. Cabe decir que la vertiente oriental de ambas elevaciones, así como la pequeña elevación del “cerro” Moctezuma -ligada genéticamente al Totoltepec-, han sido invadidos por la mancha urbana, quedando fuera del objetivo central de nuestro análisis integrado. Igualmente, la pequeña porción basal de la rampa que se extiende aguas abajo de la presa Guadalupe y que está modelada sobre los materiales detríticos del acarreo fluvial del valle del río Cuautitlán, es un espacio altamente urbanizado que sale ya del contexto serrano, por lo que será también excluido en esta parte del estudio.

El modelado cuaternario de este territorio estuvo condicionado por la gran antigüedad y por el alto grado de alteración y trituración del roquedo aflorante. Además de los procesos de arroyada que son comunes en toda la sierra, los fenómenos gravitaciones por desprendimiento y caída de partículas sueltas han sido determinantes, toda vez que confieren al sistema una intensa dinámica geomorfológica que durante los tiempos pleistocenos llevó a la evolución de paisajes morfológicos abarrancados con bordes de valle escarpados y divisorias angostas entre amplias cabeceras. Pero, no obstante la intensidad de la tectónica, son frecuentes en los valles los perfiles transversales asimétricos debidos a procesos graduales de encajamiento de la red sobre las márgenes más cercanas al nivel de base general.

El efecto de la rampa sobre los flujos de aire es -pese al accidentado relieve del sector- poco significativo debido a la posición basal y a la escasa prominencia del conjunto. Por ello, la característica frescura del piedemonte superior se torna aquí a un ambiente templado y subhúmedo, con las temperaturas medias anuales entre 13° y 17° C y las precipitaciones medias anuales en torno a los 800 mm, pudiendo descender a menos de 600 mm en las porciones más distales y llanas. Pero, además del decremento en el volumen de las precipitaciones, su distribución a lo largo del año mantiene un marcado régimen estacional, con o que la generación de excedentes hídricos se concentra en un período corto de sólo cuatro meses, definiéndose así una larga temporada en la que las reservas del suelo se pierden con facilidad y se acumulan déficits hídricos que suman más de 100 mm anuales.

Por su parte, las escasas reservas hídricas generadas en el verano -de apenas 200 a 400 mm anuales- circulan con gran velocidad tanto en superficie por medio de flujos epidérmicos y de una amplia red barrancos, como subsuperficialmente por medio de las percolaciones favorecidas por la alta permeabilidad intersticial y por el alto grado de fracturación de las formaciones. Como consecuencia de ello, las aguas salen con gran prontitud del sistema, sin tener apenas posibilidad de permanecer dentro de la epidermis que, consecuentemente manifiesta resequedad y agrietamiento durante el tiempo de sequía. Además, el carácter estacional y esporádico de las precipitaciones se traduce en un régimen torrencial de las corrientes de agua canalizadas, con importantes consecuencias de índole geomorfológico que a grandes rasgos tienden a activar el modelado actual de las vertientes mediante procesos de arroyada, asistidos por derrumbes y caídas de rocas que llevan a una constante renovación de las superficies rocosas aflorantes.

En estas condiciones de gran actividad geomorfológica, la capacidad de formación de *solum* está peculiarmente condicionada por la litología. En las laderas empinadas de los barrancos los suelos son delgados y discontinuos, predominando un imbricado mosaico que incluye como unidad edáfica más frecuente a los regosoles eútricos -o calcáricos en el caso de algunos roquedos compactos y muy antiguos de la sierra del Tigre- y a los leptosoles líticos. Solamente en los bajos lomeríos de los alrededores de la Presa Guadalupe los vertisoles han evolucionado sobre algunos de los depósitos texturalmente más

finos, pero en la actualidad carecen de importancia ya que en su mayor parte han sido sepultados por la mancha urbana. Otra unidad apenas representativa son los fluvisoles, que se asocian mejor a los cursos semipermanentes de los ríos Cuautitlán, Tlalnepantla y San Javier. Cabe señalar, finalmente, que con la reciente intensificación de las actividades del hombre se ha producido un giro en el sentido natural de la edafogénesis, que afecta sobre todo a los entornos de la mancha urbana y cuyo aspecto más destacable es la brusca expansión de los antrosoles úrbicos.

El área de este geosistema se encuentra plenamente dentro del piso vegetal pedemontano que, como ya se ha explicado, está representado por encinares tolerantes a la escasez de humedad y a un medio bien aireado y expuesto a la insolación. La sequedad ambiental se traduce en una gran selectividad de los elementos arbóreos, predominando los ejemplares achaparrados de encinos que forman pequeños bosquetes más o menos densos pero escasos y que, además, están acantonados en los escasos enclaves hídricamente más favorables de los fondos de barrancos, desde donde difícilmente logran expandirse por algunas laderas altas de umbría. En la mayoría de los casos los encinos están dispersos e integrados en las formaciones matorrales con otras plantas espinosas que dominan el paisaje de las laderas tendidas de solana de los valles asimétricos.

Estos sectores bajos del piedemonte serrano permanecieron prácticamente sin ocupación hasta la década de los sesenta, en que la presencia humana penetró en ellos con un fuerte carácter transformador para adecuarlo a las necesidades habitacionales, sobre todo para proteger a los habitantes de las torrenciales avenidas veraniegas y de los efectos geomofológicos que conllevan, así como para explotar los amplios recursos hídricos canalizados en los ríos. Con estos fines se han practicado una serie de obras de carácter ingenieril, que entre otros efectos incrementan los desequilibrios naturales -sobre todo de los componentes relacionados con la hidrología, la vegetación y el suelo-. Entre estas obras destacan por sus dimensiones las presas y el emplazamiento de un tramo de la autopista La Venta-Lechería, además de otros accesos que comunican a los pueblos de la sierra con la capital. Otro aspecto destacable del antropismo son las talas y posteriores repoblaciones, comúnmente exitosas, pero para las cuales se utilizan especies ajenas a la naturaleza de la sierra -como son los eucaliptos y pirules-, que tienen consecuencias negativas para el suelo.

La característica adversidad del medio marcado, por la heterogeneidad y la complejidad topográfica, aunque bajo ambientes dominados por un tipo subhúmedo del ambiente, ha condicionado sobre manera la ocupación, ya que pese a su posición basal este sector es hasta hoy uno de los menos densificados de la sierra, con asentamientos dispersos que comúnmente ocupan terrenos ilegales, al tiempo que la masa urbana compacta se detiene a manera de un frente que avanza con gran dificultad en estas tierras. Así, pues, se constituye uno de los conjuntos paisajísticos más homogéneos y hostiles de la sierra, definidos como se vera a continuación por una estructura y organización espacial más bien simples, y donde la notada disminución del potencial ecológico dificulta la regeneración natural de los espacios alterados por el hombre.

XI1. La geofacies del bosque alterado de encinos subhúmedos (*Quercus Hartwegii* y *Q. centralis*) con sotobosque de *Eupatorium* (*Eupatorium sp.*), *Muhlenbergia robusta* y *Bouteloua sp.* sobre secuencias de regosol eútrico y cambisol crómico en enclaves resguardados de la vertiente oriental de la sierra del Tigre, laderas cortas de valle y barrancos intervenidos.

Los encinares subhúmedos son la vegetación remanente de la que pudo ser en el pasado histórico una comunidad muy extendida en este sector de la vertiente pero que hoy se haya confinada al interior de los barrancos y de las altas laderas de umbría de los principales valles -de los ríos Tlalnepantla y San Mateo-, definidos por las mejores condiciones de humedad y cobijo, al tiempo que inaccesibles y poco frecuentados, aunque comúnmente presa de la contaminación del suelos y agua por el vertido de basura en su interior. La pirámide de vegetación correspondiente a esta geofacies refleja en su estructura y contenido florístico una comunidad altamente tolerable a la sequedad ambiental, consistente en encinares bajos de variedades subhúmedas de *Quercus centralis* y *Q. Hartwegii*.

En los sotobosques predominan también las fitoindicadoras de la sequedad superficial que forman una cobertura incompleta de talla subarborescente y constituida mayoritariamente por pastos altos de *Muhlenbergia macroura* y *Bouteloua sp.* con ejemplares más altos y dispersos de *eupatorium* y romerillo

(*Verbesina virgata*). En el herbáceo otras gramíneas bien extendidas en la base de la sierra como *Hilaria cenchroides*, se intercala con algunos musgos y otras plantas que aprovechan bien los nichos de mayor humedad como los musgos. Así pues, el bajo potencial geoecológico que caracteriza al geosistema incentiva la fragilidad de estos encinares alterados que así quedan inmersos en una dinámica progresiva pero con gran peligro de fallar bajo el creciente deterioro del ambiente y de los ahora escasos pero bruscos antropismos que ya afectan las laderas.

GEOFACIES: XI ₁	Bosque alterado de encinos subhúmedos (<i>Quercus Hartwegii</i> y <i>Q. centralis</i>) con sotobosque de <i>Eupatorium</i> (<i>Eupatorium</i> sp.), <i>Muhlenbergia robusta</i> y <i>Bouteloua</i> sp.	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: San Mateo Nopala	
ALTITUD (msnm): 2392	PENDIENTE: 30°	EXPOSICIÓN: Umbria (Noroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera media del valle del río San Mateo		
SUELO: Regosol eútrico		
LITOLOGÍA: Talud de coluviones		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Campos abandonados/Basurero		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INTERIOR		
<i>Quercus Hartwegii</i>	3	2
<i>Quercus centralis</i>	3	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Eupatorium sp.</i>	1	1
Enredadera	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Eupatorium sp.</i>	2	2
<i>Muhlenbergia robusta</i>	1	3
<i>Bouteloua sp.</i>	1	2
<i>Verbesina virgata</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBACEO		
<i>Deschampsia pringlei</i>	1	3
Leguminosa	1	1
<i>Hilaria cenchroides</i>	1	1
<i>Quercus centralis</i>	+	1
<i>Mentha canadensis</i>	+	1
Musgo	+	1
Acantácea	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	

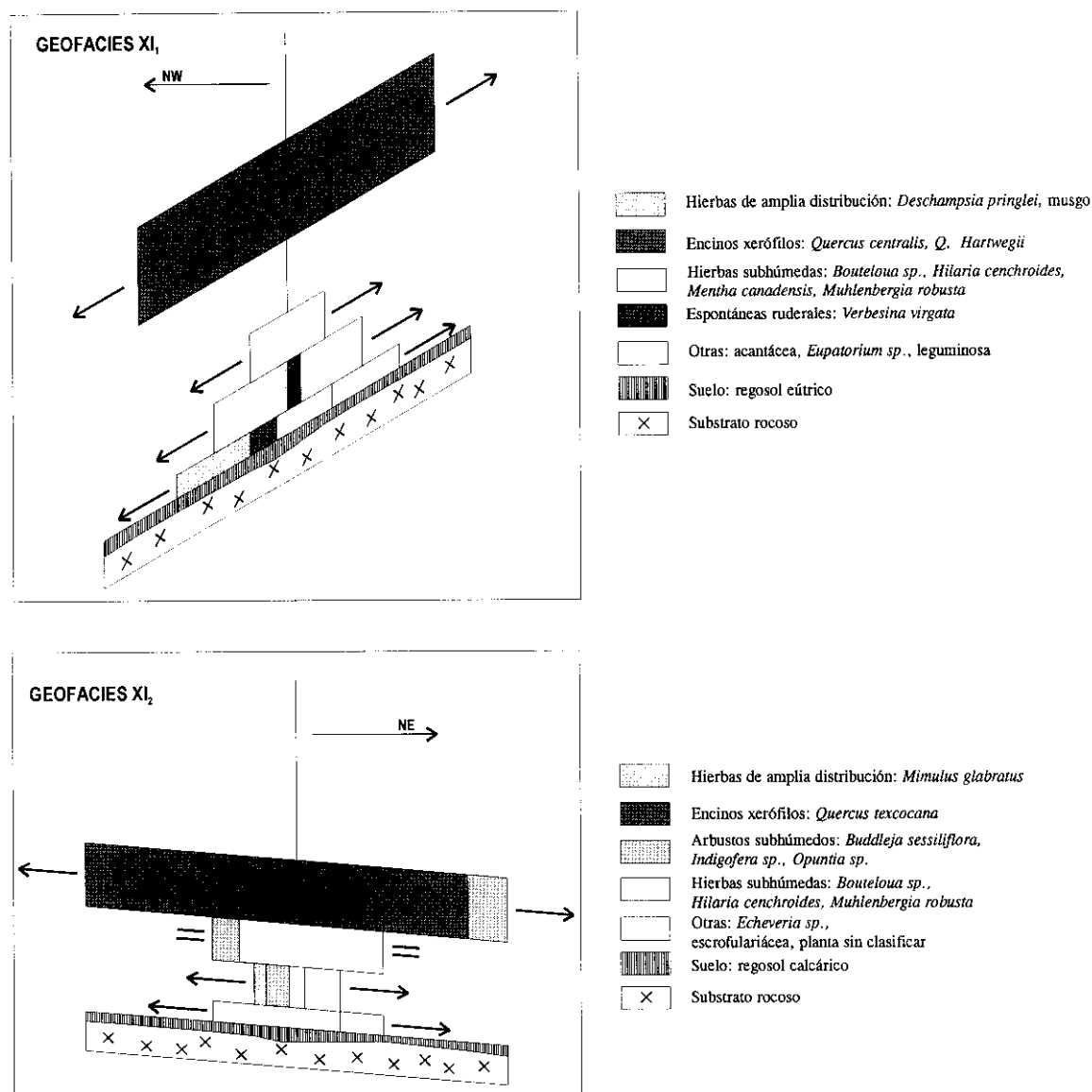


Figura 10.33. Pirámides de vegetación XI₁ y XI₂.

XI₂. La geofacies del bosque bajo de encino blanco (*Q. texcocana*) con nopal (*Opuntia sp.*) sobre secuencias de regosoles y leptosol lítico en enclaves expuestos de la vertiente oriental de la sierra del Tigre, laderas del cerro Totoltepec, laderas cortas de valles y barrancos intervenidos y con fuerte desequilibrio estructural.

Es la geofacies de los barrancos de morfología abierta y por tanto mejor expuestos a la insolación y al viento, por lo que destaca en ellos una más sentida sequedad superficial que en todo caso se incentiva por efecto del desmonte y el sobrepisoteo. Se trata de suelos poco evolucionados del tipo del regosol eútrico y el leptosol lítico, pero que alcanza una peculiar alta correspondencia con los regosoles calcáricos de la sierra del Tigre. La colonización vegetal de estos barrancos es evidentemente más limitada que en la geofacies XI₁, ya que consiste en encinares subhúmedos, compactos y chaparros de encino blanco (*Quercus texcocana*) con ejemplares dispersos de nopal (*Opuntia sp.*) silvestre.

En la pirámide de vegetación XI₂ se observa bajo el denso dosel de los árboles un manto más bien ralo aunque diversificado y mayoritariamente gramíneo de *Muhlenbergia robusta*, *Bouteloua sp.* e *Hilaria cenchroides*, plantas todas ellas que son comunes en los campos de las faldas de la sierra. Además, llama la atención por su carácter fitoindicador el tepozán (*Buddleja sessiliflora*) e *Indigofera sp.* plantas de ambientes subhúmedos y con frecuencia dañados por fuerte sequedad superficial. Así pues este manto vegetal altamente tolerante y adaptado al medio adverso que ocupa, es evidentemente insuficiente para frenar los efectos erosivos del lavado superficial que afecta a los regosoles y que forma parte de la dinámica natural que rejuvenece estas superficies de forma permanente. Pero la ya comentada compactación y sequedad que afecta al suelo es un proceso que implica grave riesgo en cuanto que parece estar a muy poco de sobrepasar la estabilidad natural que permita entrar en dinámicas erosivas muy intensas y el emplazamiento de tendencias francamente regresivas.

GEOFACIES: XI ₂	Bosque bajo de encino blanco (<i>Q. texcocana</i>) con nopal (<i>Opuntia sp.</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Sierra del Tigre	
ALTITUD (msnm): 2472	PENDIENTE: 5°	EXPOSICIÓN: Solana (Noreste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Superficie divisoria de aguas		
SUELO: Regosol calcárico		
LITOLOGÍA: Lavas alteradas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Terreno abandonado sin uso aparente		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Quercus texcocana</i>	5	3
<i>Opuntia sp.</i>	+	1
Abundancia: 5	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Echeveria sp.</i>	2	2
Planta sin clasificar	2	2
<i>Buddleja sessiliflora</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Estable	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Escrofulariácea	1	2
<i>Indigofera sp.</i>	+	2
<i>Buddleja sessiliflora</i>	+	1
<i>Mimulus glabratus</i>	+	1
<i>Muhlenbergia robusta</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Bouteloua sp.</i>	2	1
<i>Scrophulariaceae</i>	1	2
<i>Hilaria cenchroides</i>	1	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	

XI₃. La geofacies del bosque muy alterado de pirul (*Schinus molle*) de repoblación con nopal (*Opuntia sp.*) y sotobosque de eupatorium (*Eupatorium petiolare*) y zuapatli (*Montanoa tomentosa*), sobre secuencias de regosoles y leptosol lítico en barrancos inervenidos y con fuerte desequilibrio estructural.

La utilización del pirul (*Schinus molle*) para estabilizar barrancos activos es una práctica tradicional que en teoría se basa en el rápido crecimiento de este árbol y su tolerancia a ambientes hostiles, por lo que son idóneos para mejorar la estructura y humedad en el suelo. Sin embargo, las consecuencias negativas relativas al agotamiento del suelo que esta vegetación ocasiona son sentidos en este caso y se manifiestan de forma más que evidente en los recubrimientos

vegetales, entre los que domina una mayoría de especies de poco valor ecológico. No obstante, en la pirámide de vegetación correspondiente se tiene una comunidad de estructura compleja, conformada por dos niveles de pirules, uno mayor que no alcanza los 15m de altura y otro inferior de talla arborescente en el que los ejemplares aparecen dispersos e intercalados con nopales altos, que evidentemente fueron introducidos junto al bosque.

GEOFACIES: XI ₃	Bosque muy alterado de pirul (<i>Schinus molle</i>) de repoblación con nopal (<i>Opuntia sp.</i>) y sotobosque de eupatorium (<i>Eupatorium petiolare</i>) y zuapatli (<i>Montanoa tomentosa</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Sierra del Tigre	
ALTITUD (msnm): 2420	PENDIENTE: 30°	EXPOSICIÓN: Solana (Este)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Cabecera de barranco, vertiente al río San Javier		
SUELO: Regosol calcárico		
LITOLOGÍA: Lavas alteradas		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: No se aprecian		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Schinus molle</i>	3	2
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBORESCENTE		
<i>Opuntia sp.</i>	2	2
<i>Schinus molle</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Eupatorium petiolare</i>	2	4
<i>Montanoa tomentosa</i>	2	2
<i>Senecio salignus</i>	1	2
<i>Agave ferox</i>	+	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Eupatorium petiolare</i>	1	2
<i>Salvia fulgens</i>	1	2
<i>Opuntia sp.</i>	+	1
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Eupatorium petiolare</i>	1	1
<i>Opuntia sp.</i>	+	1
<i>Salvia fulgens</i>	+	2
<i>Hilaria cenchroides</i>	+	1
helecho	+	1
<i>Bouteloua sp.</i>	+	1
<i>Eupatorium sp.</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	

Los sotobosques son también muy densos y diversificados, aunque con una corta variedad de plantas altas, entre cultivadas como el maguey (*Agave ferox*), tolerantes a la sequedad superficial como el eupatorium (*Eupatorium petiolare*) y el zuapatli (*Montanoa tomentosa*) o bien, ruderales que son comunes en áreas alteradas de toda la rampa como la *Salvia fulgens*. Algunos elementos florales que son indicadores de cierta humedad como los helechos frecuentan dada la alta retención de humedad que se suele alcanzar en el interior de los barrancos. Se trata -como es de esperar por su posición en el interior de barrancos- de una geofacies eminentemente dinámica e inestable que está sujeta a procesos erosivos que llegan a ser muy intensos durante el estiaje. La protección de los pirules se queda corta ante la magnitud de los fenómenos erosivos, de tal forma que las comunidades vegetales no alcanzan una adaptación plena, lo que dificulta la regeneración de los pirules y favorece, como se ha visto la entrada de numerosos elementos de baja calidad ecológica.

XI4. La geofacies del zacatal de *Bouteloua sp.* y *Deschampsia pringlei* con uña de gato (*Mimosa acanthocarpa*) sobre secuencias de andosol háplico, leptosol lítico y regosoles en franjas divisorias y laderas altas de valle.

Los zacatales son la comunidad vegetal más extendida y característica de las franjas divisorias y de la parte de las laderas que queda fuera del ámbito forestado del fondo de los barrancos. Aunque forman parte de la vegetación natural de los encinares y que por tanto existieron con antelación a la entrada del hombre en la sierra, es a partir del abandono de las antiguas parcelas agrícolas en que este tipo de comunidad vegetal se extendió por la mayor parte del territorio. Por ello, un importante elemento identificador los zacatales de este sistema natural es el contenido de plantas no naturales originadas de forma directa o adventicias de la actividad agrícola. En la pirámide de vegetación XI3 destaca de ella que se extiende como un manto de gran cobertura superficial y constituido por dos tipos de zacates frecuentes en las faldas de la sierra como son *Boteloua sp.* y *Deschampsia pringlei*.

Muy significativa es la presencia de plantas arbustivas de uña de gato (*Mimosa acanthocarpa*), firme indicador de la sequedad que premia en superficie y de ejemplares aislados de plantas ruderales muy frecuentes en toda la vertiente

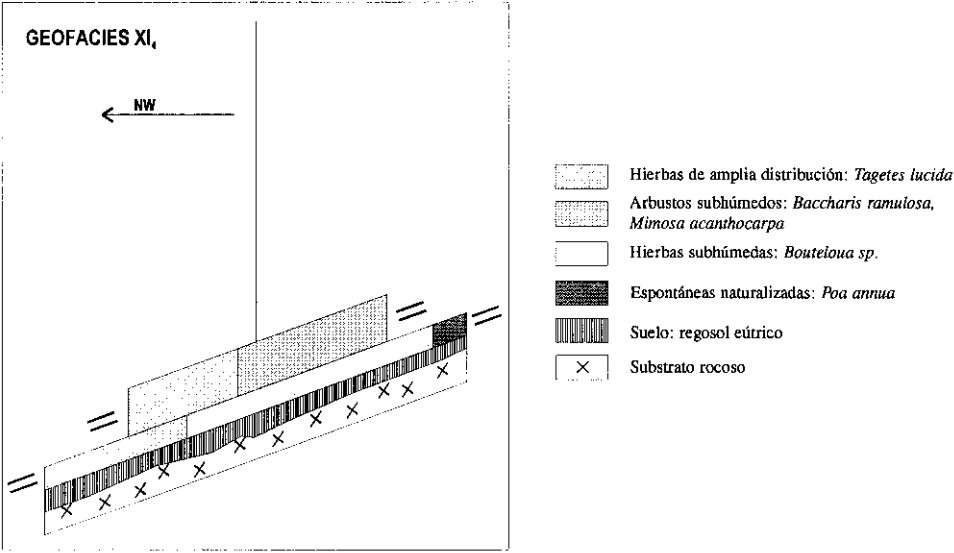
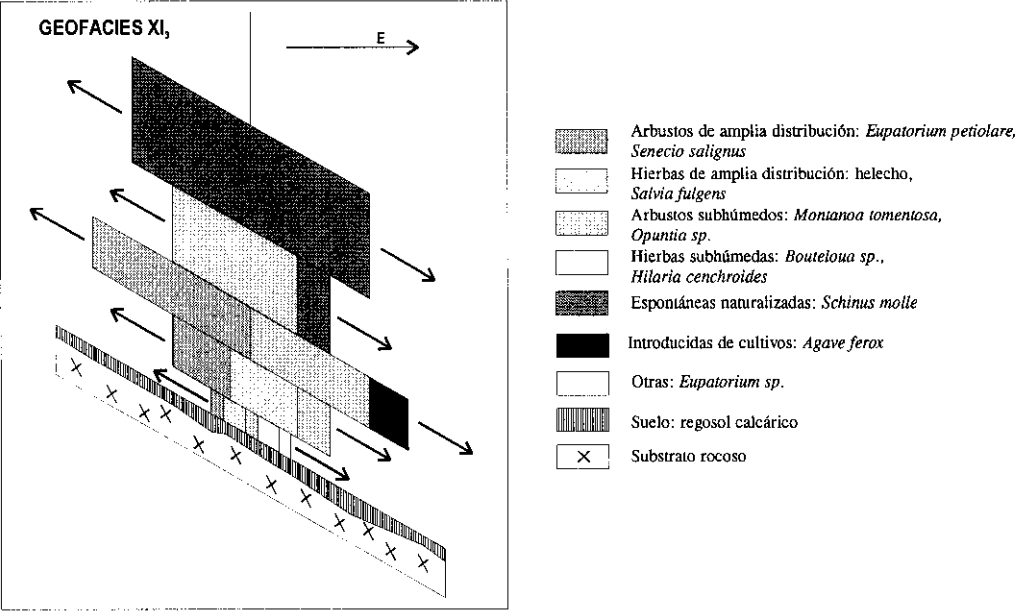


Figura 10.34. Pirámides de vegetación XI₃ y XI₄.

como *Tagetes lucida*. Y otro elemento no siempre presente es el pirul o el eucalipto sembrados de forma irregular y dispersa con fines diversos pero comúnmente para evitar el abarrancamiento de las parcelas agrícolas. Y finalmente, cabe señalar que a diferencia de otros zacatales (geosistemas VI, VIII y IX) en este caso es menos evidente la presión que supone la dinámica regresiva por abarrancamiento intensivo de las laderas de valle, lo que les confiere una notable estabilidad y equilibrio dinámico.

GEOFACIES: XI ₄	Zacatal de <i>Bouteloua</i> sp. y <i>Deschampsia pringlei</i> con uña de gato (<i>Mimosa acanthocarpa</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: San Mateo Nopala	
ALTITUD (msnm): 2385	PENDIENTE: 22°	EXPOSICIÓN: Umbría (Noroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera media del valle del río San Mateo		
SUELO: Regosol eútrico		
LITOLOGÍA: Talud de coluviones		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Reforestaciones con pirul/Campos abandonados/Basurero		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Mimosa acanthocarpa	2	3
Tagetes lucida	2	3
Baccharis ramulosa	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Estable	
ESTRATO HERBACEO		
Bouteloua sp.	4	5
Deschampsia pringlei	3	3
Poa annua	+	2
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	

XI₅. La geofacies de las superficies de cultivo sobre secuencias de andosol háplico y fluvisol eútrico en divisorias, laderas tendidas de solana y superficies aluviales.

Como ya se ha explicado anteriormente, los bajos potenciales hídricos, aunados a las condiciones adversas dadas por y unos suelos escasamente evolucionados y en sumo frágiles ante el modelado externo, son los aspectos más significativos que han mermado el desarrollo de la actividad agrícola, a tan alto nivel como no se observa en ningún otro de los geosistemas pedemontanos. Todo parece indicar que las superficies dedicadas a esta actividad nunca fueron predominantes, de tal forma que hoy la mayor parte de las superficies

desmontadas originalmente para este fin ya han sido abandonadas y colonizadas por zacatales -de la geofacies XI₃- o bien han caído en situación de fuerte inestabilidad y se observan desnudas y afectadas por abarrancamientos -geofacies XI₅-. Los enclaves agrícolas actuales coinciden con el fondo de los valles más amplios, sobre fluvisoles eútricos que evidentemente ocupan espacios muy reducidos y aprovechados de forma intermitente, estando sujetos al daño que supone la intensa dinámica hídrica y geomorfológica del estiaje en el interior de los valles.

XI₆. La geofacies de las superficies perturbadas y sin recubrimiento vegetal afectadas por fenómenos de gravedad, o por acciones antrópicas en los entornos a los ejes de infraestructura.

La escasa capacidad de retención y por tanto de saturación de humedad debidas a las bajas pluviales y a las intensas percolaciones que se dan a través de los principales ejes de fracturación, constituye un importante freno a la dinámica geomorfológica que y por tanto a la apertura de espacios faltos de recubrimiento vegetal, como ocurre en otros sistemas de la sierra (caso de los geosistemas VI, VIII y IX). La mayoría de estos enclaves coinciden con las cabeceras de pequeños barrancos y laderas de valle activos y afectados mayoritariamente por fenómenos de gravedad. Otros enclaves sin vegetación corresponden con los bordes de vialidades -entre los que destacan las amplias franjas y tajos sin vegetación abiertos con motivo de la construcción de la autopista La Venta-Lecheria- y menos significativos los bordes de pequeños núcleos de población dispersa.

10.2.11.1. La serie del encinar subhúmedo de la parte inferior de la rampa Centro-Norte, de la sierra del Tigre y del “cerro” Totoltepec.

Son dos los aspectos fundamentales en los que se apoya la dinámica actual del encinar subhúmedo, definida por una tendencia de acusada regresión de las geofacies de mayor valor ecológico. Por una parte destacar que las potencialidades naturales y en particular las disponibilidades hídricas son las más bajas de la vertiente y han permitido el desarrollo de encinares subhúmedos que

en el pasado histórico pudieron cubrir las vertientes y laderas a manera de un manto abierto e intercalado con claros de zacatales. Por otra parte señalar que los antropismos que operan en este sector basal de la sierra han sido tradicionalmente -y no obstante la proximidad de la urbe- modestos y mayoritariamente enfocados al desarrollo de la actividad agrícola. Sin embargo todo parece indicar que la formación de parcelas agrícolas a costa del desmonte y roturación de una parte de las superficies divisorias y laderas tendidas de los valles disimétricos tuvo resultados infructíferos, dejando en el sistema natural graves transformaciones estructurales que afectan el funcionamiento actual de los bosques y de otros espacios naturales, con todo lo cual el proceso geosistémico más representativo de las últimas décadas es el abandono de las tierras agrícolas y una muy difícil regeneración de la carpeta biótica.

En la actualidad los bosques que tiene mayor proximidad con los encinares originales y que por tanto constituyen la geofacies clímax del sistema natural son los encinares subhúmedos de *Quercus centralis* y *Q. Hartwegii* (geofacies XI₁) que están replegados en el interior de los fondos húmedos y mejor protegidos de los valles y barrancos. Los bordes de estas masas vegetales que dan frente a los campos abiertos de pastos y cultivos presentan una fuerte degradación que se generaliza en el caso de los valles y barrancos de morfología abierta, en los cuales la mayor exposición de las comunidades a la insolación, incrementa el riesgo de contaminación y la sequedad superficial por lo que se define en ellos la evolución de nuevas configuraciones paisajísticas de mayor degradación, con encinares chaparros con nopales silvestres (geofacies XI₂), fitoindicadores de un cambio estructural.

La recuperación biótica de las antiguas parcelas agrícolas (geofacies XI₃) ocurre bajo condiciones de estabilidad y escasas intervenciones antrópicas y consiste en la colonización de un zacatal de *Bouteloua sp.* y *Deschampsia pringlei* con ejemplares dispersos uña de gato y otros arbustos propios de ambientes secos (geofacies XI₄). Pero una gran parte de estas tierras pueden bajo condiciones de inestabilidad de los suelos ser absorbidas por la red de barrancos, con la consecuente apertura de espacios carentes de recubrimiento y sujetos a una intensa dinámica geomorfológica (geofacies XI₆). Esta actividad ya antigua ha motivado medidas de protección en el interior de los barrancos activos y sus entornos mediante repoblaciones con pirul y nopal (geofacies XI₅) que han

conseguido adaptarse al medio, aunque debido al carácter muy dinámico de los enclaves están sujetas a fuertes desequilibrios y erosión. Así, los bosquetes de pirul pero sobre todo los zacatales están sujetos con frecuencia a abarrancamientos y con la posibilidad de retornar a facies de fuerte perturbación bajo la fuerza transformadora de la actividad geomorfológica.

En las últimas tres décadas el funcionamiento del sistema natural entró en una nueva fase evolutiva que ha sido forzada por la construcción de la Presa Madín y de la autopista La Venta-Lecheria, cuyas consecuencias aún no se han manifestado plenamente en la dinámica del subsistema vegetal, pero que en principio es de esperar que la alteración hidrológica de las vertientes debida a esta causa acreciente la sequedad superficial de los suelos y su fragilidad ante la dinámica torrencial de los escurrimientos. Por ello, regeneración biótica de las laderas a partir de superficies desnudas o cubiertas por mantos de vegetación fundamentalmente herbácea a facies de encinares es entonces más difícil y casi imposible retornar al estado clímax, definiéndose entonces uno de los geosistemas regresivos con menores posibilidades de mejoría ecológica.

XII. El geosistema semifrío y húmedo de la rampa Sur, con bosque mixto de oyamel, pinos y encinos, abandono del aprovechamiento agrario y ocupación dispersa y concentrada en pueblos.

Como se señaló, la rampa Sur es el sector pedemontano más joven (170.000 años) y prominente, estando modelado sobre potentes acumulaciones piroclásticas que incluyen depósitos variados con intercalaciones de tobas líticas y pumíticas, flujos piroclásticos y lahares, todos los cuales se encuentran fracturados intensamente por los patrones tectónicos más recientes, del E-W y del SW-NE, siendo éste último el más decisivo en el modelado dado que la red de drenaje cuaternaria se adaptó a él labrando una densa red de valles encajados y barrancos que se orientan, paralelos, en la misma dirección del noreste. Pero, si bien la morfogénesis ha sido muy activa a lo largo de estos ejes de fracturación, quedan entre ellos extensas plataformas o "lomas" que no están plenamente incorporadas a la citada red de corrientes canalizadas. En la actualidad, valles y lomas constituyen dos contextos bien diferenciados, fundamentales en la organización paisajística de estos espacios.

Desde un enfoque climático, puede considerarse un área privilegiada debido a su buena exposición a los intensos flujos del noreste, que ascienden en sentido perpendicular a la vertiente impulsados por el notable vigor topográfico de este sector pedemontano. Dichos flujos se canalizan en el interior de los valles produciendo importantes efectos refrescantes y favorables a la pluviosidad. Debido a ello las laderas de este geosistema registran un clima de semifrío a fresco y húmedo, con temperaturas medias anuales entre 11° y 15° C, pudiendo las medias mensuales rozar los 18° C durante el verano, y con las precipitaciones medias anuales por encima de 800 mm, pudiendo rozar los 1300 mm característicos de las laderas altas de la sierra. Se dan, pues, unas excelentes condiciones hídricas que, no obstante el régimen estacional que concentra las precipitaciones en seis meses del año, hacen que la estación de sequía esté apenas definida y los déficits hídricos anuales sean de menos de 100 mm. Mientras, los excedentes generados durante el ciclo anual se colocan con facilidad entre 400 y 600 mm.

La circulación de los excedentes de agua en el sistema es muy dinámica debido, en principio, a la topografía agreste, a la alta capacidad de percolación de los materiales del piedemonte volcánico y a la alta densidad de líneas de fracturación, que se constituyen en eficaces vías de conducción de los caudales superficiales hacia el subsuelo. Por ello, la circulación general de los flujos de superficie y epidérmicos de las lomas es conducida con cierta rapidez hacia el interior de los valles para incorporarse a los cursos de agua canalizada y por este medio alcanza la base de la sierra o bien percola para alimentar las reservas hídricas del subsuelo a través de los sistemas de fracturación. Esta dinámica hidrológica permite el funcionamiento de uno de los sistemas de modelado más complejos e intensivos de la sierra: las laderas y los cauces de valles y barrancos están en su mayoría desequilibrados y afectados por la actividad erosiva, que tiene su manifestación más evidente en el retroceso de las cabeceras y en la movilidad de las vertientes, que retroceden igualmente por medio de procesos gravitatorios asistidos por agua (arroyada, deslizamientos y asentamientos de tierra, flujos lodosos, etc.). Esta inestabilidad gestada y mantenida en el interior de los valles y barrancos se transmite a las superficies culminantes de las lomas, que -además de sufrir una progresiva disminución de su extensión- se ven afectadas por reptaciones y asentamientos de los materiales tobáceos.

De esta forma, el componente abiótico del geosistema destaca por su dinamismo e inestabilidad, que lo hacen adverso a la edafogénesis. Los suelos del área son en su mayoría delgados y cubren de forma discontinua el territorio, sobre todo el interior de los barrancos, donde se reconoce una matizada secuencia edáfica que tiene como elementos predominantes a los regosoles eútricos y, en segundo plano, a los andosoles y los litosoles (dependiendo del tipo de substrato). En las superficies culminantes de las lomas los andosoles háplicos permanecen mejor conservados y en las pequeñas planas aluviales que ocupan los fondos de los barrancos es posible la evolución de fluvisoles eútricos asociados a una dinámica fluvial de tipo estacional. Dentro de la edafogénesis actual destaca la evolución de antrosoles úrbicos, que sistemáticamente sustituyen a las otras unidades en relación con el crecimiento de las áreas de más intensa ocupación antrópica.

Por su parte, la explotación biótica está definida por los contrastes derivados del emplazamiento del geosistema en la transición entre dos pisos de vegetación: el piso pedemontano y el piso de transición. Por ello, los elementos más representativos de su flora son los encinos, que forman comunidades mixtas con el oyamel y el *Pinus Leiophylla*, que descenden desde las montañas por el interior del valle del río Borracho y el “cerro” Las Víboras hasta cotas tan bajas como 2600 msnm. Es de suponer que estas pináceas tuvieron una distribución más amplia hasta antes de la llegada del hombre, que con sus actividades las ha forzado a retroceder ladera arriba de la sierra hasta reducirlas a los enclaves mejor resguardados de los valles altos. De este modo, las especies del género *Quercus*, que se han mostrado más tolerantes a las acciones antrópicas, constituye las únicas comunidades naturales que perviven en los ámbitos altamente ocupados de la rampa Sur. Sin embargo, aunque el estado actual de los encinares es aparentemente bueno, los árboles están frecuentemente plagados y los sotobosques profundamente afectados por la erosión, con importantes signos de estar afectados por la contaminación.

La ocupación y explotación de estos espacios comenzó en tiempos prehispánicos con el emplazamiento de las primeras comunidades (antecesoras de las localidades y pueblos de Contreras, Cuajimalpa, Acopilco, Chimalpa, Xochiac, Tlaltenango, etc.), las cuales se mantuvieron dedicadas a la extracción de recursos forestales y a la práctica de una agricultura de baja escala que apenas

tenían consecuencias negativas para la estabilidad del sistema natural. Esta situación se mantuvo hasta que la mancha urbana de la capital alcanzó las faldas de la sierra a comienzos de la segunda mitad de este siglo. A partir de entonces la intromisión del hombre en el complejo territorial natural ha sido una de las más bruscas y dramáticas del conjunto de los geosistemas analizados, siendo las causas fundamentales de ello la gran cercanía del área al centro de la capital y su ubicación en el corredor que comunica a las ciudades de México y Toluca. Ello, favorecido por la amplitud de las lomas, ha incentivado el emplazamiento de vías de acceso (entre ellas una autovía federal y una autopista) que facilitan la comunicación con la ciudad y por ende activan la dinámica inmigratoria de capitalinos, que buscan habitación económica y casi siempre ilegal en el interior del área.

El fraccionamiento ilegal de terrenos y la conurbación de los antiguos pueblos rurales han sido los procesos básicos de la ocupación habitacional e influyentes para la apertura de canteras para la extracción de materiales de construcción, la instalación de equipamientos e infraestructuras y la construcción de grandes centros comerciales y financieros, por los cuales una gran extensión del piedemonte Sur ha pasado ya a formar parte de la ciudad. Hoy la población que reside dentro del área del geosistema se aglomera en torno a los antiguos pueblos y en sus aureolas de población dispersa, que tienden a densificarse con gran rapidez, llevando a un sistemático abandono de las actividades agropecuarias, al tiempo que la mancha urbana continúa creciendo. Este crecimiento es de tal envergadura que ya se produce, no solo a expensas de las parcelas agrícolas de las lomas, sino de las laderas forestadas del interior de los valles, en un proceso que conlleva la eliminación física y directa -desde luego ilegal- de los restos de la rica y valiosa cubierta vegetal. El área ya pequeña y decreciente que ocupa este sistema natural está diferenciada por una fuerte matización de su entramado espacial, complejo y dinámico pero en el cual, no obstante, se experimenta una acelerada reducción de los espacios arbolados y una cada vez mayor y más significativa participación de las geofacies de alteración que no son mas que un indicio de la marcada tendencia regresiva que orilla hacia la muy temida desaparición de este sistema natural.

XII1. La geofacies del bosque alterado de encinos (*Quercus spp.*) con sotobosque de *Stevia salicifolia* y *Aristida sp.* sobre secuencias de andosol úmbrico, regosol eútrico y leptosol lítico en laderas de barrancos intervenidos.

La porción media de los valles más profundos y de algunos barrancos poco frecuentados por el hombre son los enclaves que sostienen los encinares mejor conservados del geosistema, pero en los que, sin embargo, se exhiben ya con claridad los daños debidos a la contaminación de los ambientes. En la pirámide de vegetación correspondiente llama la atención la gran cobertura arbórea y baja talla (menos de 15 m) de los encinares, predominando las variedades que son gran amplitud geocológica -como el encino laurel (*Quercus crassipes*) y el quebracho (*Q. rugosa*)-, aunque con la significativa presencia de especies de afinidades subhúmedas que son favorecidas por la sequedad que supone la degradación ambiental, como es el caso de *Quercus centralis*.

GEOFACIES: XII1	Bosque alterado de encinos (<i>Quercus spp.</i>) con sotobosque de <i>Stevia salicifolia</i> y <i>Aristida sp.</i>	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: San Mateo Tlaltenango	
ALTITUD (msnm): 2487	PENDIENTE: 25°	EXPOSICIÓN: Umbría (Norte)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera media de barranco, vertiente al arroyo Santo Desierto		
SUELO: Regosol eutrico		
LITOLOGÍA: Piroclastos de textura gruesa		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Movimiento de tierra/Veredas/Basura		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
Quercus centralis	2	2
Quercus crassipes	1	2
Abundancia: 4	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Stevia salicifolia	3	3
Senecio salignus	1	2
Buddleja americana	1	1
Leguminosa	+	1
Abundancia: 3	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Stevia salicifolia	1	2
Cunila Lythrifolia	+	1
Eupatorium deltoideum	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		

<i>Aristida sp.</i>	3	5
<i>Quercus centralis</i>	+	1
<i>Stevia salicifolia</i>	+	1
Leguminosa	+	1
<i>Eupatorium sp.</i>	+	1
<i>Prunus capuli</i>	+	1
<i>Garrya laurifolia</i>	+	1
<i>Festuca sp.</i>	+	1
Abundancia: 4	Dinámica: Progresiva	

A pesar del cerrado dosel arbóreo, los sotobosques son por lo común densos y bien diversificados; estables en el estrato arbustivo aunque en el rasante la cobertura de los pastos de *Aristida sp.* varía de forma notable en función de la intensidad de los lavados que suelen afectar a los suelos delgados y siempre inestables de la mitad superior de las laderas. Es de destacar el predominio de plantas arbustivas tolerantes a ambientes frecuentados y afectados por contaminación como el xolochichitl (*Eupatorium deltoideum*), la *Stevia salicifolia*, el tepozán (*Buddleja americana*), la jarilla (*Senecio salignus*). A pesar de que existe una dinámica progresiva definida por la regeneración de los encinares, se trata evidentemente de coberturas arbóreas frágiles y en consecuencia inestables, al tiempo que están amenazadas por la presión expansiva de los usos rural-urbanos de otros sectores vecinos.

XII₂. La geofacies del bosque muy alterado de encinos (*Quercus spp.*) y jaboncillo (*Clethra mexicana*) con sostobosque de eupatorium (*Eupatorium sp.*) y *Aristida sp.*, sobre regosol eútrico o antrosol úrbico en los fondos de barrancos con fuerte desequilibrio estructural.

Corresponde esta geofacies con los enclaves más húmedos y cobijados del fondo de algunos barrancos muy incididos y laderas de valle que están afectados por contaminación y otros tipos de degradación debidos a su cercanía con áreas de habitación, basureros, áreas de vertido de escombros, etc. Los suelos formados a partir de pequeñas acumulaciones detríticas o de substratos de estructura suelta y alta capacidad de retención de humedad, les confiere un fuerte desgaste físico por efecto de los lavados, con graves consecuencias sobre la estabilidad epidérmica y la evolución de la cubierta vegetal. Los encinares de estos sitios son parecidos a los de la geofacies XII₁, bajos, de amplia cobertura, al tiempo

que diversificados, aunque sin mostrar dominio de alguna variedad específica. Las variedades de amplio rango ecológico son las más frecuentes -como los encinos negro (*Quercus castanea*) y el quebracho (*Q. rugosa*)-, aunque también colonizan ejemplares subhúmedos de *Q. Dysophylla* y, aprovechando el cobijo de los barrancos crecen algunos árboles de jaboncillo (*Clethra mexicana*) que siendo más representativos de las montañas están adaptados a la abundante humedad.

GEOFACIES: XII:	Bosque muy alterado de encinos (<i>Quercus spp.</i>) y jaboncillo (<i>Clethra mexicana</i>) con sotobosque de eupatorium (<i>Eupatorium sp.</i>) y <i>Aristida sp.</i>		
FECHA: Febrero/97		LUGAR: Lomas de Vista Hermosa	
ALTITUD (msnm): 2550		PENDIENTE: 25°	EXPOSICIÓN: Umbría (Noroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera interior de barranco			
SUELO: Regosol eutrico			
LITOLOGÍA: Piroclástos de textura gruesa			
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Movimiento de tierra/Basura/Veredas/Construcciones dispersas			

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
Quercus castanea	2	2
Quercus disophylla	2	2
Quercus rugosa	2	2
Clethra mexicana	+	1
Abundancia: 5	Dinámica: Poco regresiva	
ESTRATO ARBUSTIVO		
Eupatorium sp.	+	1
Abundancia: +	Dinámica: Poco progresiva	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
Planta sin clasificar	1	4
Eupatorium sp.	1	4
Gramínea	1	3
Eupatorium patzcuarensis	+	2
Lobelia laxiflora	+	2
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
Planta sin clasificar	3	3
Lobelia laxiflora	1	4
helecho	1	3
Musgo	1	3
Aristida sp.	1	2
Abundancia: 2	Dinámica: Progresiva	

Los sotobosques son de estructura y contenido florístico muy parecidos a los encinares mejor conservados de la geofacies anterior, aunque de estructura más

abierta y en la que predominan los arbustos de eupatorium (*Eupatprium sp.*) y pastos de *Aristida sp.* La perturbación que afecta el medio de estos encinares de los fondos húmedos de barranco tiene evidentes alteraciones en la dinámica de la geofacies. La erosión epidérmica que es más sentida en el estiaje dificulta sobremanera la regeneración de los encinos, de tal forma que se define una de las geofacies con encino más inestables de la sierra, sujeta a tendencias dinámicas eminentemente regresivas que suponen una pronta degradación biótica y en todo caso grave peligro de eliminación de los bosques por medio de la tala clandestina o las quemas intencionales.

XII₃. La geofacies del bosque de eucalipto (*Eucaliptus globulus*) de repoblación con sotobosque de eupatorium (*Eupatorium spp.*), sobre antrosol úrbico en laderas de barranco.

Las repoblaciones con eucalipto en este sector bajo de la sierra han estado destinadas casi exclusivamente la recuperación o en su caso prevención de abarrancamientos intensos en antiguas parcelas agrícolas que ya han mostrado inestabilidad o en terrenos sujetos a antropismos intensos y que suponen alto riesgo para el equilibrio ecológico, como es el caso de los entornos a los tajos abiertos para el emplazamiento de grandes obras de infraestructura, centros comerciales, financieros y de servicios, y más frecuentemente en los suburbios y centros de habitación dispersa donde los encinares originales han sido desplazados bajo la presión de la tala y fuerte contaminación del ambiente. Según se observa en la pirámide de vegetación XII₃, son bosques que no pasan de 15 m, más bien abiertos y monoespecíficos de *Eucaliptus globulus*.

Además de la fuerte degradación del medio que antecede a las repoblaciones, se suma la que provoca el agotamiento del suelo por estos árboles de rápido crecimiento. El decremento de nutrientes y la sequedad superficial condicionan la evolución de sotobosques escuetos que -según se observa en la pirámide de vegetación XII₃- consisten en mantos más o menos continuos de herbáceas bajas no naturales, ruderales o que fueron introducidas en los cultivos o forrajes, y dispersas otras plantas frecuentes en bosques perturbados como el xolochichitl (*Eupatorium deltoideum*), la jarilla (*Senecio salignus*) y los zacatones (*Muhlenbergia macroura*). Destaca de este escueto recubrimiento vegetal su

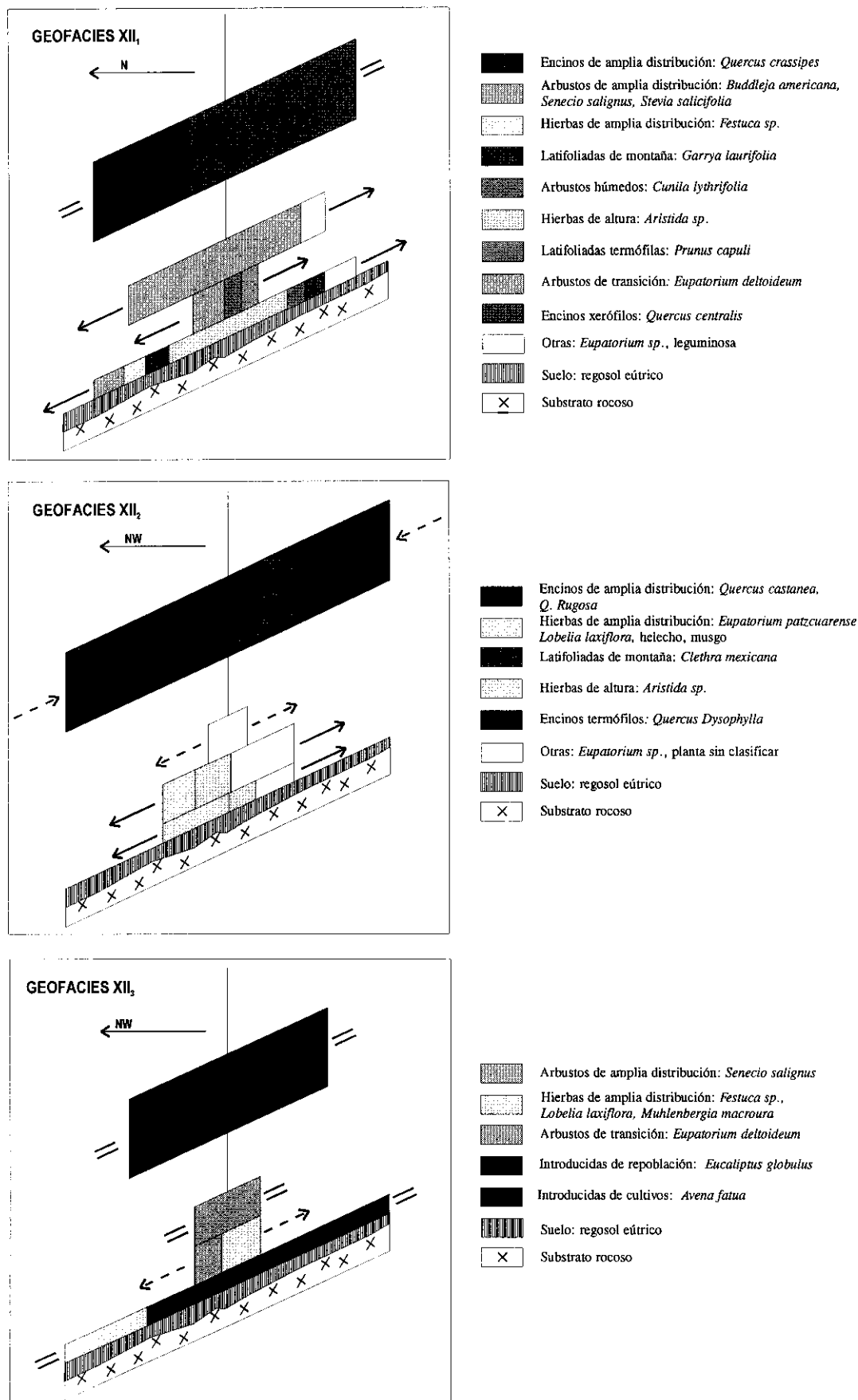


Figura 10.36. Pirámides de vegetación XII₁, XII₂ y XII₃

escasa dinámica regenerativa y la poca protección que brinda contra los intensos lavados que afectan las laderas, al tiempo que su ubicación en sectores frecuentados por el hombre cierra un cuadro ecológico dominado por la adversidad que tiende a aumentar conforme se da el avance de la urbe sobre estas laderas bajas.

GEOFACIES: XIIb	Bosque de eucalipto (<i>Eucaliptus globulus</i>) de repoblación con sotobosque de eupatorium (<i>Eupatorium spp.</i>)	
FECHA: Febrero/97	LUGAR: Presa Mixcoac	
ALTITUD (msnm): 2413	PENDIENTE: 25°	EXPOSICIÓN: Umbría (Noroeste)
SITUACIÓN TOPOGRÁF.: Ladera media de valle, vertiente al río Santo Desierto		
SUELO: Regosol eutríco		
LITOLOGÍA: Piroclastos de textura gruesa		
ELEMENTOS ANTRÓPICOS: Movimiento de tierra/Basura/Construcciones		

ESPECIES POR ESTRATO	ABUNDANCIA	SOCIABILIDAD
ESTRATO ARBÓREO INFERIOR		
<i>Eucaliptus sp.</i>	3	1
Abundancia: 3	Dinámica: Estable	
ESTRATO ARBUSTIVO		
<i>Eupatorium deltoideum</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Estable	
ESTRATO SUBARBUSTIVO		
<i>Senecio salignus</i>	+	2
<i>Muhlenbergia macroura</i>	+	1
Abundancia: 1	Dinámica: Moderadamente progresiva	
ESTRATO HERBÁCEO		
<i>Avena fatua</i>	5	5
<i>Lobelia laxiflora</i>	1	3
<i>Festuca sp.</i>	+	2
Abundancia: 5	Dinámica: Estable	

XII4. La geofacies de las superficies de cultivo sobre secuencias de andosol háplico y fluvisol eútrico en la superficie de las "lomas" y fondos aluviales.

El acelerado proceso de sustitución de los usos del suelo que premia en el geosistema XII y por el cual la mayor parte de las antiguas parcelas agrícolas que desde tiempos coloniales fueron abiertas en la superficie de las lomas interfluviales están siendo absorbidas por el área urbana o por los pueblos rurales es la causa principal que explica la baja representatividad que en la actualidad tiene este tipo de aprovechamientos. La mayoría de los centros que

continúan destinados a esta actividad se distribuyen a manera de orlas de un entramado espacial en sumo complicado en el que se mezclan cultivos, habitaciones y bosquetes, además de innumerables parcelas dispersas en todo este sector serrano. La producción está destinada en buena medida al consumo familiar o al pequeño mercado, por lo que consiste de productos básicos como maíz y frijol.

XII^s. La geofacies de las superficies perturbadas y sin recubrimiento vegetal afectadas por fenómenos de gravedad y abarrancamientos, o por intervenciones antrópicas en los entornos a los ejes de infraestructura.

Según se ha dicho con anterioridad, la geomorfología de este sector alto de la rampa de enlace se distingue por la importante actividad modeladora de sus laderas en valles y barrancos y en la que intervienen elementos litológico estructurales, morfológicos, tectónicos, climáticos e hidrológicos. Debido a ello las laderas están por naturaleza afectadas por intensos abarrancamientos y fenómenos de gravedad que dejan frecuentes cicatrices en la cubierta vegetal. Y por su parte, el rol del hombre en la apertura de este tipo de espacios carentes de recubrimiento es fundamental toda vez que sus actividades en el área son por lo general catalizadoras de fenómenos erosivos, al tiempo que participa también de forma directa con la apertura de grandes enclaves para el paso de infraestructuras -entre ellas las autopistas de México a Toluca y de La Venta a Lechería-, minas de extracción de material para la construcción, además de otros numerosos pequeños enclaves de los entornos a los núcleos de población.

10.2.12.1. La serie del encinar de la rampa Sur.

El área que abarca el geosistema XII es una de las más dinámicas e inestables de la vertiente y su dinámica interna está condicionada por dos aspectos básicos de la geoecología pedemontana. En esta superficie la integración los diversos componentes abióticos del sistema natural se resuelve en un alto potencial erosivo que pone a las vertientes en situación de fragilidad ecológica. Está claro que la vegetación natural que originalmente cubrió la practica totalidad de la vertientes fue eliminada para dar paso a los aprovechamientos agrícolas que

permanecieron como pilar de los antropismos hasta la segunda mitad de este siglo en que se estableció el proceso de intensa urbanización que rige la dinámica geosistémica actual en las faldas de la sierra. La presión debida a la ocupación de los valles, a la rápida expansión de la urbe y a la pronta ecumenización de otros geosistemas vecinos (geosistemas V, VIII y X), todo ello ha atraído graves transtornos hidrológicos y geomorfológicos que incentivan aún más el modelado y merman la edafogénesis, con nefastas repercusiones sobre la sistémica y la evolución natural de los recubrimientos vegetales.

Así, la superficie forestal se ha reducido y en la actualidad los bosques están - como es común en los demás geosistemas pedemontanos- replegados en el interior de los valles y barrancos más incididos, donde se han identificado para este geosistema solo dos configuraciones vegetales de origen natural. Una de ellas, la de los encinares alterados con sotobosque de *Stevia salicifolia* (Geofacies XII₁), presenta una estructura y contenido florístico que reflejan un mayor grado de evolución y mejor estado de conservación, por lo que pese al eminente daño que exhiben son considerados como el máximo potencial natural posible en este sector de la vertiente.

A partir de estos encinares han evolucionado otros que suelen colonizar los sectores de ladera mejor expuestos y afectados por inestabilidad y erosión, vertido de sustancias, contaminantes y basura, que tienen notables consecuencias sobre los sotobosques, ahora más ralos y constituidos básicamente del tolerante arbusto de eupatorium (geofacies XII₂). El retorno de los bosques perturbados a facies más estables y evolucionadas es difícil bajo las frecuentes intervenciones humanas y en cambio, la tendencia más generalizada e influyente en la dinámica actual es la eliminación brusca de los bosques bajo la fuerza modeladora de los procesos geomorfológicos o bien, de las acciones antrópicas de gran poder transformador que en las últimas tres décadas se han practicado para el emplazamiento de las dos autopistas que cruzan el área, varios megacentros comerciales y financieros y con la apertura de grandes minas de extracción de material lítico.

Las áreas de producción agropecuaria cubren en la actualidad una porción considerable aunque la apertura de nuevas parcelas está frenada por los nuevos y crecientes procesos urbanísticos, al tiempo que las ya existentes tienden a ser

absorbidas por las orlas habitacionales de la urbe o de los pueblos rurales. Cabe decir que como parte del proceso de sustitución de usos de suelo, una buena parte de los antiguos campos agrícolas (geofacies XII₄) que fueron abandonados -sobre todo los que ocupan el interior de valles y barrancos- están afectados por una intensa dinámica geomorfológica y en muchos casos se observan como tierras desnudas incorporadas a la geofacies XII₅. Según se pudo observar en campo el retorno a facies que impliquen la recolonización natural o un nuevo aprovechamiento agrícola de los terrenos desnudos e inestables es poco probable y con frecuencia estas tierras son objeto de prácticas de repoblación con eucalipto (geofacies XII₃) que no obstante y según se ha comentado antes, no es necesariamente una solución al problema del abarrancamiento, al tiempo que tiene importantes repercusiones negativas sobre los suelos.

Se define de esta forma, una de las series vegetales más empobrecidas y de tendencia regresiva que evoluciona hacia una pronta eliminación de los recubrimientos vegetales, hoy sujetos a fuerte contaminación ambiental, enfermos y comúnmente plagados, que les dificulta resistir la presión que les ejerce un medio altamente ecumenizado. Por ello, de continuar la actual tendencia de ocupación y otros aprovechamientos del suelo, no queda más remedio que plantear para este geosistema una próxima e irremediable destrucción de los escasos enclaves naturales que aún perviven y por tanto la desaparición de un sistema natural en el que se refleja con cierto grado de proximidad el final hacia el que se acercan otros de los sistemas naturales de la vertiente.

10.3. Conclusiones

La sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo se sitúa, dentro del sistema taxonómico-corológico propuesto por G. Bertrand, en la categoría de Región Natural, y se integra en el Dominio del Cinturón Volcánico Transmexicano correspondiente a la Zona Intertropical. Dentro de éste corresponde con una de las estructuras serranas de génesis tecto-volcánica que se alza en su porción central y cuya vertiente oriental -objeto del presente estudio- da frente y colinda con la depresión del fondo de la cuenca de México. La organización geoecológica interna de esta vertiente permite distinguir en ella una primera

división fundamental en dos principales ámbitos o Subregiones que responden a la configuración macromorfoestructural definida en este caso por los componentes litológico-estructurales, tectónicos y climáticos.

La Subregión de las Montañas incluye el sector más alto de la sierra coincidente con los tres macizos montañosos -de Catedral, Las Cruces, y San Miguel- que evolucionaron sobre los complejos volcánicos de constitución lávica intermedia y de gran prominencia que le confiere al conjunto de suficiente entidad topográfica como para determinar una configuración climática particular. Así, las vertientes y laderas altas entran en su mayor parte en la franja de clima frío y muy húmedo, y solamente las cimas montañosas más altas se adentran en ambientes muy fríos y húmedos, que solo se alcanzan por encima de los 3400 msnm en Catedral y San Miguel.

La Subregión Natural de la Rampa de Enlace y de las Elevaciones Menores comprende las faldas de la sierra, modeladas sobre los materiales vulcanoclásticos que a manera de flujos se expandieron al pie de las montañas configurando el conjunto de ellos una extensa superficie en forma de rampa que decrece en altitud hacia el oriente y se encuentra accidentada por las pequeñas elevaciones topográficas que corresponden a antiguas estructuras volcánicas sepultadas por los materiales del piedemonte. Todo el conjunto se muestra profusamente fracturado por estructuras tectónicas orientadas preferencialmente al SW-NE e incidido por la red fluvial a lo largo de las franjas más sensibles del roquedo que coinciden con las líneas de dislocación. La organización climática de esta superficie se adapta a la morfología de rampa, definiéndose una gradación climática que va de ambientes semifríos y muy lluviosos que dominan en las partes altas hacia climas templados y subhúmedos en la base.

La organización geosistémica es equilibrada en todo el territorio, en cuanto que, vistas al interior, cada una de las dos Subregiones se organiza en seis unidades geosistemas independientes pero que están familiarizados entre sí en su estructura y funcionamiento. Sin embargo, de acuerdo con el análisis de paisajes efectuado, los geosistemas de la Subregión de la Montaña son en términos generales más estables y -a excepción del geosistema VI- se rigen por una dinámica evolutiva progresiva en la que están abiertas las vías de acceso a estados de tipo climácico o paraclimácico; ello se traduce en el predominio

espacial y funcional de las geofacies de bosque y de aquellas que indican estados de regeneración de los enclaves que han sido perturbados, con lo que se posibilita una evolución progresiva y la continuidad natural de la mayor parte de las masas forestales, incluyendo las valiosísimas comunidades de pináceas que se acogen en los geosistemas I, II, III y V. La configuración paisajística en los geosistemas de montaña muestra una mayor complejidad, diferenciándose en cada uno de 7 a 11 geofacies, a excepción del geosistema I donde el potencial geoecológico es más reducido, traduciéndose en una organización más sencilla del sistema territorial que incluye sólo 2 geofacies.

Si bien es cierto que el escaso grado de perturbación que afecta al sector propiamente montañoso de la vertiente permite una mayor representatividad de las geofacies “naturales”, en la base de las montañas (geosistemas IV, V y VI), la mayor proximidad con la urbe potencia las intervenciones antrópicas y fuerza el incremento de los escurrimientos, con aparición de geofacies de alto grado de perturbación que coinciden con las áreas de actividad agropecuaria y con los entornos a las infraestructuras y a las orlas de ocupación dispersa que bordean a los antiguos pueblos rurales. Pero la participación del hombre, sin duda influyente, está condicionada aún por las dificultades de acceso que impone “la montaña”, razón por lo cual los geosistemas que ocupan las cumbres y vertientes altas sostienen hoy la mayor riqueza biótica de la sierra, definida por comunidades extensas y ampliamente biodiversificadas. En estas superficies perviven las comunidades más exigentes, mejor representadas por las pináceas y de entre ellas el oyamel, que ha sido señalado como el elemento florístico más sensible que coloniza los enclaves mejor resguardados y libres de los efectos del antropismo.

La organización geosistemica de la Subregión de la Rampa de Enlace y de las Elevaciones Menores muestra importantes puntos de contraste con la de las montañas y en principio destaca en ella una mayor incidencia del antropismo y, en consecuencia, una reducción de los potenciales geoecológicos y una mayor degradación en la calidad y cantidad de los recubrimientos bióticos. De gran interés es la aparición de nuevas facies de “gran perturbación” y una mayor segmentación espacial que sin embargo no siempre implica mayor complejidad estructural. Así, los geosistemas VII y IX -los más alejados de la urbe- están sujetos un sistema de usos básicamente agropecuario que se integra de forma

profunda pero gradual con el medio, resultando de esta integración un incremento de la complejidad estructural del geosistema que cuenta en cada caso con 8 o 9 estados distintos.

Por su parte, los geosistemas VIII, X, XI y XII que ocupan la parte inferior de la rampa (junto con el geosistema VI de la montaña) están sujetos a dinámicas de sustitución de usos del suelo más intensas, por las que los aprovechamientos forestales tienden a ser bruscamente reemplazados por otros de tipo rural-urbano, mostrando un importante sesgo ecológico que se traduce en una gran cantidad de pequeñas geocoras, que no obstante exhiben una gama reducida de configuraciones bióticas que se intercalan repetidamente, configurando un mosaico cerrado de paisajes fragmentado, pero estructuralmente sencillo.

Con la creciente ocupación de la rampa, la mayor parte de los sistemas naturales han sido perturbados a tan alto nivel que se ha ocasionado en ellos la eliminación de las comunidades bióticas más próximas a las potencialidades naturales y con ello se les ha forzado a desarrollar giros en el sentido de la evolución natural, al tiempo que el grande sesgo geoecológico regresivo que los envuelve impide la recuperación de los bosques, comúnmente enfermos y plagados, y sume sus ámbitos en situaciones calificables como de rexistasia incipiente o moderada. Con ello, las comunidades mixtas de pináceas y latifoliadas que en los geosistemas VII y IX descienden por el interior de los valles y barrancos hasta cotas cercanas a los 2500 msnm, no lo hacen en el resto de los geosistemas que articulan la base de la sierra, constituyéndose los encinares como la vegetación óptima que se puede conservar en estos sectores, una vegetación que por desgracia está sometida de forma sistemática a graves procesos de degradación ambiental.

La biodiversidad, evaluada simplemente a partir del número especies, no siempre se relaciona de forma directa con la estabilidad del sistema natural o con el grado de conservación de la cubierta biótica, sino -como se observa en la mayoría de las series de encinar y en los sotobosques de algunas comunidades de bosque- el equilibrio y la progresión ecológica se relacionan más bien con la calidad del *stock* florístico, en particular con la presencia de fitoindicadoras de la progresión biótica. Los encinares, que son por la superficie que abarcan la comunidad vegetal más representativa del territorio, tienen como una de sus

peculiaridades más significativas el carácter polifacético de las formaciones en las que intervienen de una a cuatro especies del género *Quercus* de entre una veintena que existen en el territorio, siendo la mayoría de ellas de amplio rango ecológico y tolerantes a alteración de los medios naturales, razón por la cual no es posible relacionar las distintas especies con geofacies específicas. Puede decirse que en la mayoría de los casos la diferenciación entre geofacies descansa sobre todo en la composición de los sotobosques y en la presencia de ciertas especies indicadoras.

11. CONCLUSIONES.

La configuración geocológica de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo permite apreciar dos niveles de integración de los componentes del sistema natural: por una parte, los componentes macroestructurales -la organización morfoestructural y climática- que, manifiestos a gran escala espacio temporal, son altamente independientes y, por otra, los componentes mesoestructurales tanto abióticos -la organización hidrológica y geomorfológica- como bióticos -los antropismos, la vegetación y los suelos- que, expresándose a escala espacial y temporal más reducida, dependen funcionalmente de las macroestructuras.

La organización morfoestructural del territorio estudiado deriva de una última etapa de volcanismo que afectó a la porción central de México durante el Plio-Cuaternario, distinguiéndose en él tres componentes morfoestructurales básicos: *la montaña volcánica, la rampa de piedemonte y las elevaciones menores*. La montaña volcánica se define como una franja angosta correspondiente al eje orográfico de la sierra y que está constituida por un conjunto de estructuras geológicas entre las que se encuentran domos y conos volcánicos, derrames lávicos y acumulaciones piroclásticas de composición intermedia. Teniendo en cuenta las distintas edades, caracteres y modo de evolución de los complejos constituidos por dichas estructuras se distinguen en este componente tres unidades morfoestructurales que aparecen delimitadas entre sí por importantes líneas de fracturación, los *macizos montañosos de Catedral, Las Cruces y San Miguel*.

El *macizo montañoso Las Cruces*, que abarca la porción central del territorio desde la cuenca del río Tlalnepantla al norte a la del río Hondo al sur, es el más estrecho y de menos altura (con las cimas en torno a 3500 msnm), pero a la vez el que muestra una topografía más agreste, en la que predominan los cambios bruscos de pendiente y un aspecto desgarrado por densa red de barrancos que la disecan. Por el contrario los otros dos macizos son más anchos y altos (con cumbres por encima de 3800 msnm) pero que pese a su mayor desnivel, no cuentan con una vertientes externas tan nítidas. Así el *macizo montañoso Catedral*, coincidente con el complejo volcánico más antiguo, abarca el tercio

más septentrional (que es drenado por la red del río Cuautitlán y tiene unas laderas muy extensas y menos fragmentadas por la incisión fluvial, lo que le confiere una morfología tendida y prominente. Finalmente, el *macizo San Miguel*, asociado al volcanismo más reciente, abarca el tercio meridional, que se extiende al sur del río Hondo; es la porción más prominente y la que muestra el más alto grado de disección, efectuada por una densa red de cursos que discurren por barrancos notablemente encajados los cuales, sin embargo, dejan entre sí sectores relativamente amplios de ladera que aún no han sido integrados del todo al sistema actual de drenaje.

El segundo componente morfoestructural del área es la rampa de enlace que, colocada en una posición relativamente alta (2800 msnm), constituye un relieve de transición que enlaza los macizos montañosos con el fondo de la cuenca de México. Se trata de una macro-unidad mixta constituida en su parte alta - por encima de los 2300 msnm- por los materiales de un piedemonte volcánico y en su base por los de otro francamente detrítico. Los cambios morfológicos y litológico-tectónicos que se dan en sentido longitudinal dentro de su ámbito son, sin embargo, de gran significación y permiten reconocer la existencia de cuatro unidades morfoestructurales. Se distinguen así una unidad relativamente más alta, extensa, tendida y estable -la *rampa Norte*-, otra relativamente baja, muy corta e inclinada y sensiblemente afectada por dislocaciones de la activa tectónica del SW-NW -la *rampa Centro-Norte*-, otra relativamente baja, corta, inclinada y también estable -la *rampa Centro-Sur*- y otra relativamente alta, de mediana extensión y pendiente y muy afectada por la líneas de fracturación tectónica del SW-NE -la *rampa Sur*-.

El tercer componente morfoestructural es el conjunto de elevaciones menores que se yerguen al pie de la vertiente (sierra del Tigre y "cerros" Totoltepec, Moctezuma y El Judío), ocupando pequeños enclaves que corresponden con las parte culminantes de antiguas estructuras que fueron sepultadas por los materiales del piedemonte y han sido después exhumadas gracias al parcial desmantelamiento de éste, apareciendo hoy muy afectadas por los diversos patrones tectónicos de fracturación.

Todo este dispositivo conforma una barrera orográfica que desempeña un papel básico en la distribución de las variantes climáticas en el interior de la vertiente.

Los vientos predominantes del noreste (los alisios) -que aportan masas de aire húmedas y frescas a esta porción central del país- se ven forzados a ascender por la vertiente estudiada, como consecuencia de lo cual se refrescan adquiriendo nubosidad y liberando precipitaciones en una cuantía que tiende a incrementarse conforme a la altitud. Según el sistema de clasificación climática de Thornthwaite se reconocen en el área cinco tipos climáticos cuyas áreas se distribuyen en forma de franjas paralelas y perpendiculares al sentido general de la pendiente.

La mayor parte del territorio de montaña está inmersa en la *franja de clima frío y muy húmedo*, aunque con una variante, que abarca las grandes cumbres de Catedral y San Miguel (por arriba de los 3400-3500 msnm), donde adquiere un matiz *muy frío y húmedo*. Por debajo de las laderas de los macizos, el ambiente atmosférico del sector superior de la rampa de piedemonte coincide con la *franja de clima semifrío y húmedo* y ya la parte central de la misma y algunas elevaciones dispersas que la accidentan corresponden con la *franja de clima fresco y semihúmedo*. En esta franja se distinguen además dos subsectores diferenciados por el volumen de las precipitaciones estivales que solamente en la mitad meridional superan el umbral de los 200 mm. Finalmente, en el sector inferior de la rampa se aprecian unas condiciones climáticas marcadas por una mayor limitación de las disponibilidades hídricas: su menor altura y su topografía más tendida favorecen el dominio de un *clima templado y subhúmedo*.

Otro aspecto básico del clima es la existencia de dos estaciones claramente diferenciadas y de duración más o menos equivalente. De mayo a octubre se define con mayor nitidez el tiempo húmedo y relativamente cálido, resultante de una insolación más intensa y de una elevada frecuencia de flujos de aire húmedo y fresco asociados preferentemente a la circulación general de los vientos del noreste. En la otra estación que abarca de noviembre a abril el ambiente climático es seco y fresco o frío como consecuencia de unos valores de insolación más bajos combinados con el predominio de flujos de aire preferentemente seco y frío, sin más precipitaciones que las de carácter esporádico asociadas a la entrada de los "Nortes".

El comportamiento hidrológico del territorio manifiesta una clara influencia orográfica, diferenciándose de esta forma una organización fundamentalmente altitudinal que consiste en tres franjas diferenciadas por el volumen y el régimen de la escorrentía. La montaña, que es el área más lluviosa y fresca, genera los mayores excedentes hídricos, superiores a 800 mm anuales en el área de cumbres *-franja de escorrentía teórica muy alta-* y superiores a 600 mm anuales en las laderas situadas por encima de los 2800 msnm *-franja de escorrentía teórica alta-*. En la rampa de enlace, por su parte, la menos favorable relación temperaturas-precipitación, unida a las altas capacidades de retención de algunos materiales piroclásticos y detríticos, llevan a un gradual decremento del potencial hídrico, que se coloca entre 400 y 600 mm anuales en el sector situado por encima de los 2500 msnm *-franja de escorrentía teórica media-alta-* y entre 200 y 400 mm anuales en el sector situado por debajo de dicho nivel altitudinal *-franja de escorrentía teórica media-baja-*. En esta última franja ya se define, durante el invierno, una estación marcada por los déficits hídricos, en la que la ETR se rezaga de los valores potenciales, con lo que las reservas del suelo registran importantes pérdidas. En las partes más bajas de la rampa, coincidiendo con el piedemonte detrítico, la suavidad topográfica mitiga los efectos orográficos favorables a las lluvias y favorece un caldeamiento más intenso y parejo, así como unas altas tasas de evapotranspiración, con lo que las existencias hídricas no sobrepasan de los 200 mm anuales *-franja de escorrentía teórica baja-* y los déficits hídricos estacionales se hacen más marcados.

Pero, no obstante los altos volúmenes de escorrentía disponibles en gran parte del territorio y el gran desnivel topográfico existente entre la base y las cumbres de la sierra, el sistema hidrológico se define por una notoria falta de curso superficiales permanentes y por el predominio de un régimen de flujo de tipo torrencial. Son diversos los aspectos morfoestructurales, topográficos e incluso antrópicos que intervienen en ello, destacando sobre todos la constitución clástica y el alto grado de fracturación de los materiales del piedemonte volcánico, que favorecen la percolación de las aguas procedentes de la montaña y la captación de gran parte de los caudales para la recarga de los mantos acuíferos, en detrimento de la escorrentía superficial.

La red hidrográfica que funciona en la actualidad se estableció sobre una superficie que ya había sido modelada bajo condiciones climáticas más cálidas

en el Pleistoceno, durante el cual el piedemonte volcánico fue cepillado por la arroyada laminar combinada con procesos eólicos. Sobre esta topografía en rampa aún no plenamente elaborada se encajó el actual sistema de drenaje, que inicialmente incidió con mayor intensidad sobre las margen derecha de los cursos -la más próxima al nivel de base en el fondo de la Cuenca de México-, de lo cual resultaron valles amplios y de morfología disimétrica, que hoy tienen su mejor expresión en el relieve de la rampa Norte; mientras, en la rampa Sur y en los macizos montañosos la instalación y la evolución de la red de drenaje estuvo favorecida (y controlada) desde un principio por la red de antiguas líneas de fractura orientadas al SW-NE, lo que resultó desfavorable para la apertura de valles disimétricos y propició el encajamiento brusco de los cursos y el modelado de valles profundos con perfil en "V". En la rampas centrales se dio una influencia más equilibrada de todos los factores del modelado, lo que ha permitido la evolución de valles tanto disimétricos como encajados.

En la actualidad las corrientes superficiales continúan siendo el agente fundamental del modelado en toda la vertiente y, teniendo en cuenta su intensidad y su modo de actuación, es posible distinguir dos ámbitos dinámicamente distintos. Por una parte están los retazos de la morfología previa a la apertura de los valles que se conservan en los interfluvios montañosos y de piedemonte, incluyendo las "lomas" interfluviales de la rampa Sur, que no han sido propiamente integrados a la red de drenaje actual, siendo por tanto áreas con una reducida dinámica geomorfológica que corre a cargo de procesos de escasa competencia. Por otra parte se encuentra el interior de los valles, barrancos, cárcavas y *badlands*, en cuyas vertientes y cauces se concentra la mayor actividad morfogenética, caracterizada por la incisión fluvial y la acción concentrada de la arroyada, que se combinan con reptaciones, deslizamientos y hundimientos, en las márgenes tendidas de los valles y barrancos disimétricos, y con deslizamientos y desprendimientos en las márgenes de ataque de los valles disimétricos, así como en ambas laderas de los valles fuertemente incididos con perfil en "V". Solamente en las laderas montañosas las acciones ligadas a la escorrentía se combinan con procesos de fuerte control gravitatorio como derrumbes y caída de derrubios, en tanto que en las áreas de cima domina un sistema morfogenético de tinte periglacial, con crioturbação y formación de lentejones de hielo en suelos y formaciones deleznales.

Dada la situación de fuerte inestabilidad que predomina en los valles, la ocupación del territorio por parte del hombre y de sus actividades se ha centrado sobre las superficies más regulares y estables de las franjas divisorias interfluviales y en la “lomas” de la rampa Sur. En ellas el sistema de aprovechamientos del suelo estuvo caracterizado hasta la primera mitad de este siglo por las actividades agropecuarias articuladas en torno a más de una veintena de pueblos rurales; sin embargo, en la década de los cuarentas de este siglo se inició el establecimiento de un nuevo sistema de ocupación y usos del suelo en el que la tradicional actividad agropecuaria fue y continua siendo sistemáticamente replegada cada vez más hacia las partes altas de la vertiente, al tiempo que el avance de lo urbano adquiere cada vez mayor intensidad y dinamismo.

El área afectada por mayores transformaciones es una franja adosada al límite del área urbana de la Ciudad de México, caracterizada por procesos de fraccionamiento, creación de centros comerciales y de servicios, vías de comunicación, así como por una importante densificación y conurbación de los antiguos pueblos rurales. En ella la expansión habitacional adquiere tal intensidad que determina un masivo abandono de los campos de labor y afecta al interior de los valles y barrancos, implicando con ello una rápida sustitución o degradación de los bosques conservados en ellos. Por contra, en las partes altas de la rampa de enlace y en los macizos montañosos el crecimiento de la ocupación es moderado y los aprovechamientos continúan siendo básicamente agropecuarios y forestales, aunque se aprecia una notable tendencia a la densificación habitacional en los pueblos, un incremento de la explotación descontrolada de los recursos forestales y un desarrollo importante de nuevos usos turísticos y recreativos del territorio; todo ello, unido al daño generado por el acceso de contaminantes ambientales (principalmente atmosféricos), ponen en riesgo la estabilidad de las masas arbóreas. Puede decirse, en suma, que las actividades humanas en la vertiente están caracterizadas por la desorganización y la falta de una política efectiva de protección de los espacios naturales, que ya en la actualidad han sido afectados de forma negativa aunque con más intensidad y con resultados más nefastos en las partes bajas de la sierra.

La ubicación geográfica del área estudiada y los factores morfoestructurales y climáticos-hidrológicos, altamente correlacionados entre sí, desempeñan un

papel biogeográfico fundamental, al determinar en principio el *stock* florístico del área y la configuración con él de siete formaciones de bosque natural (de pino de alta montaña, de oyamel, de encinos, de aile, mixto de oyamel y pinos, mixto de oyamel, pinos y encinos, y mixto de oyamel, pinos y cuachichie) y cuatro formaciones de matorral o pastizal (matorral húmedo, matorral subhúmedo, zacatal y zacatonal). Pero, además, la configuración macroestructural establece las pautas básicas de la organización fitoecológica del territorio, consistente en cuatro pisos de vegetación climática: el *pedemontano* de bosques de encinos, el de *transición* de bosques mixtos de coníferas y encinos, el *montano* de bosques mixtos de abetos y pinos y el *cacuminal* de pinares abiertos. La distribución concreta y la extensión de estas combinaciones vegetales, así como su fisionomía y fenología, se adaptan a la diversidad de condiciones hidrológicas, geomorfológicas y edafológicas que se dan en cada piso.

Pero, sobre todo en los últimos tiempos, el antropismo ha pasado a ser un factor de primer orden cuyo peso sobre los demás componentes del medio biótico resulta decisivo. El hombre actúa de forma directa sobre la vegetación a través de las roturaciones, los incendios y la emisión de contaminantes, los cuales en conjunto producen efectos de gran envergadura como son la pérdida de grandes extensiones de bosque y el retroceso sistemático de los que aún existen, que se repliegan a los sectores más altos de la sierra o al interior de los valles y barrancos, dejando su lugar en las áreas más accesibles a la expansión habitacional o a la aparición de nuevas formaciones de matorral y pastizal. Las reforestaciones con especies autóctonas e introducidas han sido limitadas y, aunque en algunos casos la buena adaptación de las especies ha permitido su reproducción silvestre, los efectos han sido con frecuencia negativos. La nota más común en el presente es que la rica y variada vegetación forestal originaria tiende a disminuir su superficie, sobre todo en la rampa de enlace y en las elevaciones menores, existiendo no obstante tanto en ella como, sobre todo, en las laderas montañosas amplias representaciones de las comunidades vegetales que ocupaban la vertiente antes de la reciente intensificación y generalización del antropismo.

Por su parte, la organización de los suelos es el resultado más sintético de la interacción de todo el conjunto de componente abióticos, bióticos y antrópicos

que integran en medio. Su nivel de dependencia es alto y gran parte de sus caracteres derivan de la naturaleza y la evolución de la vegetación y de la intensidad y los caracteres de las acciones antrópicas. Con base en el sistema de clasificación de suelos de la F.A.O. se reconocen nueve unidades de suelo, distribuidos a manera de mosaicos complicados y difíciles de cartografiar individualmente (aunque cartografiables tomando en cuenta sus agrupaciones). En las altas laderas montañosas y en algunos enclaves resguardados de las lomas piemontanas aparece el *andosol úmbrico* que evoluciona sobre laderas arboladas de morfología relativamente accidentada, en ambientes semifríos y lluviosos. Pero la sustitución de los bosques por otro tipo de vegetación causa un giro en la edafogénesis que pasa a ser regida por una menor acumulación de materia orgánica y por una lixiviación más completa que lleva a la evolución del *andosol háplico*. Y en las áreas de fuerte pendiente topográfica de la montaña, sobre los roquedos compactos de lava, así como en algunos sectores del piedemonte donde afloran ciertas coladas de alta resistencia predominan los suelos poco evolucionados del tipo del *leptosol lítico*.

En el sector superior de la rampa de enlace que se extiende al pie del macizo Las Cruces el afloramiento de depósitos de toba volcánica alterada, coincidiendo con ámbitos muy accidentados y dinámicos, favorece la evolución de horizontes B propios del *cambisol éútrico*. Y por debajo de dicha franja alta, en la porción de la rampa que enlaza con el fondo de la cuenca de México al sur del río Tlalnepantla, los *andosoles* y el *regosol éútrico* están mejor difundidos, en tanto que en la sierra del Tigre el *regosol calcárico* es el suelo más común sobre los roquedos antiguos. En todo caso, el elevado dinamismo geomorfológico de estos sectores centro meridionales condiciona una edafogénesis lenta y en continuo rejuvenecimiento.

Por el contrario, al norte del río Tlalnepantla, el relieve menos agreste, unido a un roquedo apreciablemente más fino, granuloso y suelto permiten una edafogénesis más completa. En este ámbito las precipitaciones, aunque marcadamente estacionales, son abundantes, propiciando que las lixivitaciones y los lavados pasen a ser los procesos fundamentales de la edafogénesis. Debido a ello en las partes altas de dicho sector septentrional el tipo edáfico más característico es el *luvisol crómico* y, hacia la base de la sierra, en los entornos a la presa Guadalupe, el *vertisol éútrico* (que se forma a consecuencia de la

acumulación en superficie de arcillas expandibles y de una mayor sequedad derivada de la fuerte estacionalidad pluviométrica). Finalmente, tratándose de un área donde la arroyada tiene gran importancia, el *fluvisol eútrico* se presenta en estrechas llanuras de inundación y en algunos remansos topográficos que se asientan a distintos niveles altitudinales.

La incidencia de las acciones antrópicas en la formación y evolución de los suelos queda patente en todos los casos, siendo particularmente manifiestas las graves consecuencias que han tenido los cambios de uso -sobre todo la sustitución de la vegetación forestal originaria-y la alteración de los patrones hidrológicos con la correlativa modificación del régimen de la escorrentía y la intensificación de la actividad erosiva. Los suelos ándicos se encuentran entre los más afectados por la actividad del hombre en la vertiente, teniendo su retroceso como contrapartida la aparición y expansión del *antrosol úrbico* en el área de la rampa y las elevaciones menores.

La toma en consideración ordenada y desde una perspectiva integradora de los diversos componentes del sistema territorial permiten situar el área de estudio en el nivel taxonómico-corológico de la Región Natural y encuadrarla dentro de la Zona Intertropical, más concretamente en el Dominio del Cinturón Volcánico Transmexicano. Dentro de él corresponde a una de las estructuras serranas de génesis tecto-volcánica que se alza en la porción central del mismo y cuya vertiente oriental -objeto de nuestro estudio- da frente y colinda con la depresión del fondo de la cuenca de México.

Con base en consideraciones morfoestructurales, bioclimáticas y antrópicas muy evidentes, que se reflejan en rasgos paisajísticos genéricos altamente significativos, se aprecia en la vertiente una primera división fundamental en dos grandes ámbitos o Subregiones Naturales. La Subregión de las Montañas incluye el sector más alto de la sierra coincidente con los tres macizos montañosos -de Catedral, Las Cruces, y San Miguel- que se desarrollan sobre complejos volcánicos de suficiente continuidad espacial y entidad orográfica como para determinar un ambiente climático particular, en su mayor de clima frío y muy húmedo y que llega a ser muy frío y húmedo en el área de las cimas. La Subregión Natural de la Rampa de Enlace y de las Elevaciones Menores incluye las faldas de piedemonte de la sierra, cuya continuidad se rompe por la presencia

de pequeñas elevaciones topográficas (que corresponden -como se ha dicho- con antiguas estructuras volcánicas sepultadas por los materiales volcánicos y detríticos), mostrándose todo el conjunto profusamente fracturado al SW-NE e incidido por la red fluvial; la organización climática de esta gran ámbito se adapta a la morfología de rampa, definiéndose una gradación climática que va de ambientes semifríos y muy lluviosos que dominan en las partes altas hacia climas templados y subhúmedos de la base.

El análisis integrado de paisajes permite apreciar que, al nivel de los geosistemas (áreas definidas por una misma combinación de potencial abiótico, explotación biótica y acción antrópica), la organización es equilibrada en todo el territorio, ya que en cada una de las dos Subregiones Naturales se reconocen seis unidades geosistémicas independientes, pero que están familiarizados en su estructura y funcionamiento con las demás que integran. Puede decirse de esta forma que los geosistemas de la Subregión de la Montaña son en términos generales más estables, presentan -a excepción del geosistema VI- una situación evolutiva de tipo subclimácico o paraclimácico y registran un predominio espacial y funcional de las geofacies de bosque natural y, en general, de las configuraciones paisajísticas que indican estados de regeneración de los enclaves que han sido perturbados. En todos ellos están abiertas en mayor o menor medida las vías que posibilitan una evolución progresiva capaz de asegurar la continuidad natural de la mayor parte de las masas forestales, incluyendo las valiosas comunidades de pináceas que forman la cubierta biótica en partes importantes de los geosistemas I, II, III y V. La configuración paisajística muestra una mayor complejidad, ya que en cada geosistema se diferencian de 7 a 11 geofacies, a excepción del geosistema I donde el potencial geoecológico es más reducido, traduciéndose en una organización más sencilla que incluye solo 2 geofacies.

Si bien es cierto que el escaso grado de perturbación humana que afecta a las montañas de la sierra permite una mayor representatividad en ellas de las geofacies "naturales", en la parte baja de sus laderas (área de los geosistemas IV, V y VI) la mayor proximidad a la urbe potencia las intervenciones que desprotegen el suelo y propician el incremento de la escorrentía superficial y consecuentemente el modelado de las vertientes; ello da lugar a la aparición de algunas geofacies con alto nivel de degradación, que coinciden con las áreas de

actividad agropecuaria y con los entornos a las infraestructuras y a las orlas de habitación que bordean a los antiguos pueblos rurales. Pero la participación del hombre, sin duda influyente, está condicionada por las dificultades de acceso que impone “la montaña” y que permiten que esta Subregión se conserve la mayor riqueza biótica de la sierra, definida por comunidades vegetales extensas y ampliamente diversificadas. En ella perviven las comunidades forestales constituídas por las especies arbóreas más exigentes, pertenecientes en su mayoría a la familia de las pináceas y entre las que destaca el abeto u oyamel, señalado como el elemento florístico más valioso y sensible, que coloniza los enclaves mejor resguardados y libres de los efectos del antropismo.

La organización geosistémica de la Subregión de la Rampa de Enlace y de las Elevaciones Menores muestra, por su parte, importantes puntos de contraste con la de las montañas, destacando en principio una mayor incidencia de los factores antrópicos y en consecuencia una reducción de los potenciales geoecológicos naturales, así como una mayor degradación en la calidad y cantidad de los recubrimientos bióticos. De gran interés es la aparición de nuevas geofacies de “gran perturbación” y una mayor segmentación espacial, que sin embargo no siempre implica mayor complejidad estructural. Así, en el caso de los geosistemas VII y IX -los más alejados de la urbe y que están sujetos a un sistema de usos básicamente agropecuario que se integra de forma profunda pero gradual con el medio natural- se aprecia un mayor nivel de complejidad estructural, que cuenta en cada caso con 8 y 9 estados (o geofacies) distintos. Por el contrario, los geosistemas VIII, X, XI y XII, que coinciden con la base de la rampa, están sujetos a dinámicas de sustitución de usos del suelo de elevada intensidad, por las que los usos forestales tienden a ser bruscamente reemplazados por otros de tipo rural-urbano; ello se traduce en diferenciación de una gran cantidad de pequeñas geocoras que, no obstante, exhiben una gama reducida de configuraciones paisajísticas, configurando un mosaico cerrado de paisajes de contenido contrastado, pero estructuralmente sencillo.

Con la creciente ocupación habitacional de la rampa la mayor parte de sus sistemas territoriales han sido perturbados a tan alto nivel que se ha ocasionado en ellos la eliminación de las comunidades correspondientes a sus potencialidades naturales, forzándoles a desarrollar giros en el sentido de su evolución. La situación a que se ha llegado impide la recuperación de los

bosques, comúnmente enfermos y plagados, apreciándose en ellos una dinámica de tipo regresivo que conduce a un estado de rexistasia incipiente o moderada. Así, las comunidades mixtas de pináceas y latifoliadas, que en los geosistemas VII y IX descienden por el interior de los valles y barrancos hasta cotas cercanas a los 2500 msnm, ya no lo hacen en el área del resto de los geosistemas que articulan la base de la sierra, constituyéndose los encinares como la vegetación más valiosa de estos sectores; unos encinares que, por desgracia, siguen sujetos de forma sistemática al los mismos proceso que causaron la degradación ambiental.

No obstante la diferenciación del territorio en dos Subregiones Naturales funcional y paisajísticamente diferenciadas y los matices que se dan entre los distintos geosistemas que las integran, la evolución a largo plazo de la vertiente en su conjunto sigue hoy una línea evolutiva que está fundamentalmente determinada por la participación y la actuación del hombre en el sistema natural, como consecuencia de lo cual la diferenciación estructural y funcional de los geosistemas depende ya -y cada vez dependerá más- de la proximidad o accesibilidad a la urbe. Conforme avanza el proceso de ecumenización desde la base de la rampa hacia las cumbres de la montaña el *stock* florístico de las comunidades que caracterizan el paisaje recibe nuevos elementos mejor identificados con ámbitos propios de niveles inferiores, que suelen corresponder con geofacies más degradadas. Ello indica de forma evidente que la vegetación característica de la base de la sierra -la más relacionada y tolerante a los antropismos- tiende a desplazarse hacia las partes altas de la sierra, en detrimento muchas veces de las especies originales. Así, poniendo en segundo plano las particularidades funcionales de cada geosistema, puede apreciarse como los aspectos antrópicos generales que inciden en el devenir de los geosistemas son cualitativamente muy parecidos en los distintos sectores de la sierra, por lo que la diferencia entre ellos proviene, más que del tipo de los antropismos, de la intensidad y ritmo con que éstos intervienen en el sistema natural.

En la Subregión de Montaña las actividades humanas de fuerte impacto son dispersas y de área limitada, ya que corresponden por lo común a obras federales, como la construcción de carreteras o el establecimiento de acueductos, líneas de cableado, etc. Son asimismo importantes las deforestaciones y

roturaciones con fines agropecuarios y para explotación de los recursos forestales y, en menor grado, los desmontes asociados a la expansión de las aureolas habitacionales que bordean los pueblos rurales.

Por el contrario, en la Subregión la Rampa de Enlace y de las Elevaciones Menores los sistemas de uso y ocupación humana del suelo son mucho más evolucionados y se manifiesta en ellos una mayor variedad e intensidad en las formas de perturbación ecológica. Además de los desequilibrios debidos a la construcción de infraestructuras, los aprovechamientos agrícolas se generalizan, aunque tienden con mayor prontitud a ser reemplazados por una actividad de tintes cada vez más urbanísticos, implicando con ello alteraciones naturales más intensas y definitivas que dejan en la mayoría de los casos una clara imposibilidad para alcanzar la regeneración biótica, estableciendo de este modo una tendencia a la eliminación de los paisajes forestales que es particularmente clara en los geosistemas que ocupan la base de la sierra (geosistemas X, XI y XII).

Así pues, la distribución, la estructura y la dinámica de los doce geosistemas reconocidos está significativamente condicionada por el creciente proceso de ecumenización de la vertiente, que es más intenso en la base de la sierra y va disminuyendo de intensidad según se asciende hasta disolverse casi por completo en las cumbres montañosas de Catedral y San Miguel. Conforme este proceso avanza en dirección a las áreas culminantes los geosistemas se ven afectados en algunos de sus componentes lo que se traduce en la admisión de nuevos elementos en la cubierta biótica y en una degradación de la misma, reduciéndose el ámbito de las geofacies más naturales y valiosas. Pero la transformación no se limita a estos cambios en el contenido y en la configuración paisajística de los geosistemas, sino que puede hablarse de una tendencia a la sustitución de áreas: los geosistemas fuertemente antropizados y prácticamente irrecuperables de la base de la sierra se extienden hacia las partes altas de la sierra, al tiempo que los geosistemas de las medianías de la vertiente, en los que se conservan unos contenidos bióticos particularmente ricos y sensibles, se repliegan cada vez más en las laderas altas.

12. BIBLIOGRAFIA.

Las morfoestructuras

AGUAYO-CAMARGO, J. E. (1989). "Evolución geológica de la cuenca de México". En *Simposio sobre tópicos geológicos de la cuenca del Valle de México*. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C. México. 25-41 pp.

ARELLANO, A.R.V. (1953). "Estratigrafía de la cuenca de México". En *Mem. Cong. Cient. Mexicano*. III. México. 172-186 pp.

BRYAN, Kirk (1948). "Los suelos complejos y fosiles de la altiplanicie de México en relación a los cambios climáticos". *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Tomo XIII. México. 1-20 pp.

COMISION HIDROLOGICA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO (1959). *Breve descripción de la cuenca del valle de México, sus problemas hidráulicos y modo de resolverlos*. S.R.H., México. 17 p.

DE CSERNA , Z. et. al. (1988). *Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la cuenca de México*. Boletín 104, Instituto de Geología, UNAM. México, D.F. 71 p.

GERRARD, John. (1990). *Mountain environments*. Belhaven Press, London. 317 p.

MORA, G. et al. (1991). "Southward migration of volcanic activity in the Sierra de Las Cruces, basin of Mexico?. A preliminary K-Ar dating and paleomagnetic study". *Geofísica Internacional*, vol. 30, no. 2. México. 61-70 pp.

MOOSER, Federico (1962). "Bosquejo geológico del extremo sur de la cuenca de México". En Congreso Geológico Internacional, Excursión C-9. Inst. Geol., U.N.A.M. México. 9-16 pp.

MOOSER, Federico (1970). "Condiciones geológicas acerca del pozo Texcoco PP1". En V Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Cimentaciones en áreas urbanas de México: Coatzacoalcos, Guadalajara, México, D.F., Monterrey, tomo II. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México. 143-161 pp.

MOOSER, F. et al. (1974). "Paleomagnetic investigations of the Tertiary and Quaternary igneous rocks: VIII A paleomagnetic and petrologic study of volcanics of the valley of Mexico". *Geologische Rundschau*, vol. 63. W-Germany. 451-483 pp.

MOOSER, Federico (1975). "Historia geológica de la cuenca de México". En *Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal*, tomo 1. D.D.F. México. 7-38 pp.

MOOSER, F. et al. (1986). *Características geológicas y geotécnicas del valle de México*. Comisión de Vialidad y Transporte Urbano. México.

MOOSER, F. (1996). *Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. Estratigrafía tectónica regional y aspectos geotérmicos*. C.F.E. México, 27 p.

MOOSER, F. Y MONTIEL, A. (1989). "El relleno post-Chichinautzin del valle de México y su relación con la intensidad sísmica". En *Simposio sobre tópicos geológicos de la cuenca del valle de México*. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México. 55-? pp.

ORDOÑEZ, Ezequiel (1895). "Las rocas eruptivas del suroeste de la cuenca de México". *Bol. Inst. Geol. México*. no. 2. México. 46 p.

SCHLAEPFER, C. J. (1968). Resumen de la geología de la hoja México, D.F., Estado de México y de Morelos. *Carta geológica de México*. Instituto de Geología, UNAM. México.

SEGERSTROM, Kenneth (1956). "Estratigrafía y tectónica del Cenozoico entre México, D.F. y Zimapan, Hgo.". En *20 Congreso Geológico Internacional*. México, Libreto guía, Exc. A-3 y C-1. Pp. 11-37.

VÁZQUEZ, E. Y JAIMES, R. (1989). "Geología de la cuenca de México". *Geofísica Internacional*, vol. 28, no. 2. México. 133-190 pp.

EL clima

BARRY, R. (1992). *Mountain weather and climate*. Routledge Physical Environment Series. Routledge, London. 402 p.

CERVANTES J. y asociados (1976). *El medio natural Cuenca de México*. Dirección Gral. De Planificación, D.D.F. México. 193 p.

FERNÁNDEZ, Felipe (1995). *Manual de climatología aplicada. Clima, medioambiente y planificación*. Col. Espacios y Sociedades Serie Mayor, no. 2. Síntesis, S.A. Madrid, España. 285 p.

GARCÍA, Enriqueta (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo al caso de la República Mexicana)*. Instituto de Geografía, UNAM. México. 252 p.

La hidrología

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (1993). *Boletín hidrológico*. No.43, D.D.F., México. 30-192 pp.

DAVIS, S. y DE WUEST, R. (1971). *Hidrogeología*. Tr. esp. Francisco J. Martínez Gil. Ariel. Barcelona, España. 563 p.

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS Y CAMINOS VECINALES (1967). *Balance hídrico*. 8 vols. M.O.P. Madrid, España.

GARCÍA RAYEGO, José Luis (1993). *Los paisajes naturales de la Comarca del Los Montes-Campo de Calatrava*. Tomos I y II. Tesis U.C.M. Madrid, España. 888 p.

MADEREY, Laura Elena (1976). "Efecto del crecimiento de la parte oeste de la Ciudad de México en el proceso hidrodinámico". En *Comité Nal. Mexicano para el decenio hidrológico internacional*. Memoria 1972-1974. Inst. Geol. UNAM. México. 27-32 pp.

MIJAILOV, L. (1989). *Hidrogeología*. Tr. T. Velázquez. Mir. Moscú, U.R.S.S. 286 p.

FALTA LA FUENTE DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS E HIDROLOGICOS

La geomorfología

BIRKELAND, P. y LARSON, E. (1989). "Surficial processes". *Putnam's geology*, Cap. III. Oxford University Press. New York. 282-587.

GARCÍA, Arturo y ZAMORANO, J. J. (1992). "Delegación Cuajimalpa, D.F., análisis morfométrico aplicado a la inestabilidad de vertientes". *Actas del XIII Congreso Nacional de Geomorfología*. Aguascalientes. México. 31-39 pp.

GUERARD, A. J. (1993). "Landscape sensitivity and change on Dartmoor". En *Landscape sensitivity*, Cap. 5 (D.S.G. Thomas y R.J. Allison) John Wiley and sons. London. 49-63 pp.

LUGO, José I. (1990). "Mapa geomorfológico del occidente de la cuenca de México". En *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*, no. 21. Inst. De Geografía, UNAM. México. 1-19 pp.

ORTIZ, M. A. (1987). "Los cambios de nivel de base como mecanismo morfogenético de la asimetría de valles". En *Boletín del Instituto de Geografía*, sobretiro no. 17. Inst. Geografía, UNAM. México. 9-44 pp.

TRICART, J. (1965). *La epidermis de la Tierra*. Labor. Barcelona.

La organización antrópica.

D.D.F. (1984). *Anuario de vialidad y transporte del Distrito Federal, 1983*. D.D.F. México. 48 p.

D.D.F. (1994). *Programa integral de transporte y vialidad, 1995-2000*. D.D.F. México. 147 p.

GARZA, Gustavo (1987). "Distribución de la industria en la Ciudad de México". En *Atlas de la Ciudad de México*. D.D.F. y Colegio de México. México. 102-107 pp.

GRAIZBORD, B. y SALAZAR, H. (1987). "Expansión física de la Ciudad de México". En *Atlas de la Ciudad de México*. D.D.F. y Colegio de México. México. 120-124 pp.

GUTIÉRREZ DE MACGREGOR, M.T., et al. (1990). *Crecimiento espacial de las principales ciudades. Ciudad de México*. Escala 1:100.000. Atlas Nacional de México, III.3.5. Instituto de Geografía, U.N.A.M. México.

I.N.E.G.I., (1992). *Distrito Federal. Resultados definitivos. Datos por AGEB urbana. XI censo general de población y vivienda, 1990*. I.N.E.G.I., México. 311 p.

I.N.E.G.I., (1992). *Estado de México. Resultados definitivos. Datos por AGEB urbana. XI censo general de población y vivienda, 1990*. I.N.E.G.I., México. 409 p.

I.N.E.G.I. (1994). *Anuario estadístico para el Distrito Federal, edición 1994*. I.N.E.G.I. México. 288 p.

I.N.E.G.I., (1994). *Distrito Federal. Resultados definitivos del VII Censo agrícola-ganadero*. I.N.E.G.I. México. 201 p.

INEGI, (1994). *Estado de México. Resultados definitivos del VII Censo agrícola-ganadero*. Tomos I,II y III. I.N.E.G.I., México.

NEGRETE, M. E. y SALAZAR, H. (1987). "Dinámica del crecimiento de la población de la Ciudad de México (1900-1980)". En *Atlas de la Ciudad de México*. D.D.F. y Colegio de México. México. 125-128 pp.

PARTIDA, Virgilio (1987). "El proceso de migración a la Ciudad de México". En *Atlas de la Ciudad de México*. D.D.F. y Colegio de México. México. 134-139 pp.

S.C.T. (1993). *Mapa turístico de comunicaciones y transportes del Distrito Federal*. Mapas 1 y 2 Esc. 1:100.000. Planeta. México.

S.C.T. (1993). *Mapa turístico de comunicaciones y transportes del Estado de México*. Esc. 1:250.000. Planeta. México.

UNIKEL, Luis (1972). *La dinámica del crecimiento de la Ciudad de México*. Fundación para estudios de la población, A.C. México. 28 p.

La vegetación

AZUELA, Antonio (1991). "Una torre de babel para el Ajusco. Territorio, urbanización y medio ambiente en el discurso jurídico mexicano". En *Servicios urbanos, gestión local y medio ambiente* (Editores SCHTEINGART, Martha y ANDREA, Luciano). Colegio de México, México. pp. 205-229.

BENÍTEZ, Griselda (1987). "Efectos del fuego en la vegetación herbácea de un bosque de *Pinus Hartwegii* Lindl. de la sierra del Ajusco". En *Aportes a la ecología urbana de la ciudad de México* (Editores H. RAPOROT, Eduardo y LÓPEZ, Ismael). Tercera parte, Limusa, México. pp. 111-151.

BENÍTEZ, Griselda, et al. (1987). "Evaluación comparativa de la pérdida de la cubierta vegetal y cambios en el uso del suelo en el sur de la ciudad de México". En *Aportes a la ecología urbana de la ciudad de México* (Editores H. RAPOROT, Eduardo y LÓPEZ, Ismael). Quinta parte, Limusa, México. pp. 193-222.

BRACHO, Rosa (1985). *Estudio florístico de la parte inferior de la sierra de Monte Alto, en el Valle de México*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, U.N.A.M., México. 82 p.

CARDENAS, Adriana, et al. (1993). *Principales descortezadores de México*. México. pp. 50-60.

ECKELMANN, Claus (1995). "Regeneración y dinámica natural de un bosque de pino-encino en la Sierra Madre Oriental en el noreste de México". En *III Seminario nacional sobre la utilización de encinos*. Memorias Tomo I. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 199-212 pp.

HERNÁNDEZ, Jorge (1995). "Posibles usos de 5 encinos de Puebla de acuerdo a su composición química". En *III Seminario nacional sobre la utilización de encinos*. Memorias Tomo I. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 786-796 pp.

KRAMER, Horst y AGUIRRE, Oscar (1995). "Importancia de los aclareos en los bosques de encino". En *III Seminario nacional sobre la utilización de encinos*. Memorias Tomo I. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 320-330 pp.

MADRIGAL, Xavier (1967). *Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de Oyamel (Abies Religiosa (H.B.K.) Schl. et. Cham) en el Valle de México*. Boletín técnico No. 18. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México. pp. 23-76.

MARROQUÍN, Jorge y ECKELMANN, Claus (1995). "Plantas indicadoras de humedad de sitio en un bosque de pino-encino". En *III Seminario nacional sobre la utilización de encinos*. Memorias Tomo I. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 213-219 pp.

MIRANDA, F. y HERNÁNDEZ, X. (1963). "Los tipos de vegetación en México y su clasificación". En *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. No. 28, México. pp 29-179.

OSORIO, María (1984). *Flora y vegetación de la parte superior de la sierra de Monte Alto, en el Valle de México*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, U.N.A.M., México. 102 p.

REYES, Irma y GAMA, Jorge (1995). "Caracterización de la variación del medio ambiente donde se distribuyen algunas especies de encinos". En *III Seminario nacional sobre la utilización de encinos*. Memorias Tomo I. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 56-80 pp.

REYES, Irma y GAMA, Jorge (1995). "Revelación de la importancia de los encinos". En *III Seminario nacional sobre la utilización de encinos*. Memorias Tomo I. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 44-55 pp.

ROMERO, Silvia (1993). *El género Quercus (fagacea) en el Estado de México*. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias-Biología, U.N.A.M., México. p.?

RZEDOWSKI, Jerzy (1979). "El uso y el mal uso de las plantas". En *Flora Fanerogámica del Valle de México* (Ed. RZEDOWSKI, J. et al.). Vol.I. CECSA, México. pp. 55-56.

RZEDOWSKI, Jerzy (1979). "Extinción de especies vegetales". En *Flora Fanerogámica del Valle de México* (Ed. RZEDOWSKI, J. et al.). Vol.I. CECSA, México. pp. 43-45.

RZEDOWSKI, Jerzy (1979). "Principales comunidades vegetales". En *Flora Fanerogámica del Valle de México* (Ed. RZEDOWSKI, J. et al.). Vol.I. CECSA, México. pp. 47-54.

RZEDOWSKI, Jerzy (1979). "Relaciones geográficas y posibles orígenes de la Flora". En *Flora Fanerogámica del Valle de México* (Ed. RZEDOWSKI, J. et al.). Vol.I. CECSA, México. pp. 37-41.

RZEDOWSKI, Jerzy (1988). *Vegetación de México*. Limusa, México. 432 p.

SÁNCHEZ, Oscar (1984). *La flora del Valle de México*. Herrero S.A., México. 519 p.

SANDOVAL, Leonor (1995). "Daño causado por insectos a las semillas de encino en la Magdalena Conteras, D.F." En *III Seminario nacional sobre la utilización de encinos*. Memorias Tomo I. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 839-849 pp.

VARGAS, Fernando (1984). *Parques Nacionales de México y reservas equivalentes*. Instituto de Investigaciones Económicas, U.N.A.M. México 266 p.

VAZQUEZ, María (1992). *El género Quercus (fagacea) en el Estado de Puebla, México*. Tesis de Licenciatura, Escuela Nacional de Estudios Profesionales, U.N.A.M., México. 246 p.

VÁZQUEZ, Jesús (1987). *El saneamiento y la limpia forestales del Desierto de los Leones*. Comisión Coordinadora para el Desarrollo Rural, D.D.F. México. pp. 6-11.

Los suelos

BUOL, S. W. et al. (1990). *Génesis y clasificación de suelos*. Tr. esp. Agustín Contin. Trillas. México. 417 p.

DUCHAUFOR, Philippe (1984). *Edafogénesis y clasificación*. Serie Edafología, núm. 1. Tr. esp. Tarcy Carballas F. y Modesto Carballas F. Masson. Barcelona, España. 493 p.

FAO-UNESCO (1981). *Clave para la clasificación de suelos utilizada en el mapa de suelos del mundo de la FAO-UNESCO, a escala 1:50.000* (Vol. 1 Leyend). Tr. esp. Tarcy Carballas y otros. Sociedad Española de la Ciencia del Suelos. Madrid.

FAO-UNESCO (1991). *Mapa mundial de suelos, leyenda revisada*. Tr. esp. Tarcy Carballas y otros. Santiago de Compostela, España. 142 p.

FERRERAS, C. y FIDALGO, C. (1991). *Biogeografía y edafogeografía*. Síntesis, Colección Espacios y Sociedades no. 6 Madrid, España. 262 p.

ROBINSON, Gilbert (1960). *Los suelos su origen, constitución y clasificación, introducción a la edafología*. Tr. esp. José Luis Amorós. Omega. Barcelona, España. 515 p.

YOUNG, Anthony (1976). *Tropical soils and soil survey*. Cambridge Geographical Studies núm. 9. Cambridge University Press. London, England. 468 p.

El análisis integrado de paisajes.

BEROUTCHACHVILI, N. y BERTRAND G. (1978). "Le Géosystème ou Système territorial naturel". *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*. Tome 49, fasc.2, Toulouse. 167- 180 pp.

BEROUTCHACHVILI, N. y MATHIEU, J. (1977). "L' Éthologie des geosystèmes". *L' Espace Geographique*. Tome VI, no. 2, Paris. 73-84 pp.

BEROUTCHACHVILI, N. y PANADREDA C. (1977). "Tendencia actual de la ciencia del paisaje en la Unión Soviética: El estudio de los geosistemas en la estación de Martkopi (Georgia)". *Revista de geografía*. no. 11, Barcelona. 23-36 pp.

BEROUTCHACHVILI, Nicolas y RADVANYI, Jean (1978). "Les structures verticales des géosystèmes". *Revue Geographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*. Tome 49, fasc. 2, Toulouse. 181-198 pp.

BERTRAND, Georges (1978). "La géographie physique contre nature?". *Herodote*. no.12, Toulouse. 7796 pp.

BERTRAND, Georges (1978). "Le paysage entre la Nature et la Société". *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Oest*. Tome 49, fasc. 2, Toulouse. 239-258 pp.

BERTRAND, Georges (1968). "Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique". *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Oest*. Tome 39, fasc. 3, Toulouse. 249-272 pp.

BERTRAND, Georges (1966). "Por une étude géographique de la végétation". *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Oest*. Tome 38, fasc. 2, Toulouse. 129-144 pp.

BOLOS, María (1975). "Paisaje y ciencia geográfica". *Estudios Geográficos. Homenaje a D. Manuel de Teran*. 93-105 pp.

BOLOS, María y Capdevilla (1977). "Aportación al estudio del hombre como elemento y factor del paisaje". *V Coloquio de Geografía*, Granada. 163-166 pp.

BOLOS, María (1981). "Problemática actual de los estudios de paisaje integrado". *Revista de Geografía*. Vol. 15, Dpto. de Geografía de la U. de Barcelona. 45-68 pp.

BOLOS, María et al. (1992). *Manual de ciencia del paisaje. Teoría, métodos y aplicaciones*. Masson, S.A., Barcelona, España. 273 p.

BRUNET, Roger (1974). "Analyse des paysages et sémiologie. Éléments pour un débat". *L' Espace Géographique*. no. 2, París 120-126 pp.

CALVO, J. F. et al. (1990). "Análisis espacial del paisaje, aplicaciones al estudio de la cuenca del río Mula (Murcia, SE. España)". *I Congreso de Ciencia del Paisaje (Torrebonica). Monografíes de l' equip 3*. Barcelona, España. 189-200 pp.

CENDRERO, Antonio (1980). "Bases doctrinales y metodológicas". *Primera Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Vol. Ponencias, Universidad de Santander, España. 1-61 pp.

CENDRERO, Antonio (1980). "Ordenación del medio físico y aplicación de técnicas de evaluación de impacto ambiental a proyectos turísticos". *Seminario sobre turismo y medio ambiente*. Universidad de Santander, España. 31 p.

DE TERAN, Manuel (1966). "Una ética de conservación y protección de la naturaleza". *Separata del Volumen Homenaje al Excmo Sr.D.Amando Melon y Ruiz de Gordejuela*. Zaragoza, España. 69-75 p.p.

DUMOLARD, Pierre (1975). "Région et régionalisation, une approche systémique". *L' Espace Géographique*. Tome IV, no. 2, París 93-111 pp.

FERRERAS, Casildo (1987). "La Phytosociologie comme moyen de diagnostic de l'état du paysage vegetal". *Colloques phytosociologiques*. XV, Strasbourg. 349-359 pp.

FERRERAS, Casildo y MEAZA, Guillermo (1991). "Botánica y Geografía: su convergencia en el estudio integrado del paisaje vegetal". *Botánica pirenaico-cantábrica*. Jaca y Huesca, España. 521-530 pp.

FERRERAS, Casildo (19??). "Tendencias actuales en Biogeografía vegetal". B., España. 164-180 pp.

GARCÍA-RUIZ, José M. (1990). "La montaña; una perspectiva geoecológica". En *Geoecología de las áreas de montaña* (Editor GARCÍA-RUIZ, J. M.). Geoforma, Logroño, España GARCÍA-RUIZ, J. M., Editor. 15-31 pp.

MABBUTT, J. y STEWART, G. (1963). "The application of geomorphology in resources surveys in Australia and New Guinea". *Revue de Géomorphologie dynamique*. Vol.14, Nos. 7-8-9, Amsterdam. 97-109 pp.

MARGALEF, Ramón (1984). "El papel de la geomorfología en los estudios del paisaje". *I Coloquio de Paisaje y Geosistema. Monografies de l'equip 1*. Barcelona, España. 103-117 pp.

MARTÍNEZ DE PISÓN, Eduardo (1980). "Los conceptos y los paisajes de montaña". *Actas del Coloquio Hispano - Francés sobre las áreas de montaña*. Madrid. 22-34 pp.

MARTÍNEZ DE PISÓN, Eduardo (1983). "Cultura y ciencia del paisaje". *Agricultura y Sociedad*, no. 27, 9-32 pp.

MEAZA, Guillermo (1991). "El paisaje vegetal de Alava Oriental". *Lurralde*. no.14, Universidad del País Vasco, España. 233-278 pp.

MENDOZA, J. et al. (1994). *El pensamiento geográfico. Estudio interpretativo y antología de textos. (de Humbolt a las tendencias radicales)*. Alianza, Madrid. ??? pp.

MUÑOZ, J. (1979). *El lugar de la geografía física*. Depto. de Geografía de la Universidad, Oviedo. 43 pp.

MUÑOZ, J.(1981). "Paisaje-vivencia y paisaje-objeto en los planteamientos integrados de análisis geográfico". En *I Coloquio Ibérico de Geografía*. Ediciones de la Universidad, Salamanca. 55-66 pp.

MUÑOZ, J. (1982). "Las grandes unidades geo-ecológicas de los piedemontes graníticos del Sistema Central". *I Congreso de Geografía de Castilla y León*. Burgos, España.99-111 pp.

MUÑOZ, J. (1989). "Paisaje y geografía". *Arbor*. Tomo CXXXII, no. 518-519. Madrid. 219-233 pp.

MUÑOZ, J. (1992). "Perspectiva ambiental e integración disciplinar en geografía". *Boletín de la A.G.E.* no. 14. Madrid. 1-6 pp.

NOGUÉ, Joan i FONT (1985) "Geografía humanista y paisaje". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*.no. 5, Madrid. 93-107 p.p.

- PALMA, Bejarano (1990). "Alternativas metodológicas para el estudio de los elementos bióticos del paisaje". *I Congreso de Ciencia del Paisaje (Torrebonica). Monografies de l'equip 3*. Barcelona, España. 175-181 pp.
- PANAREDA, J. Ma. (1973). "Estudio del paisaje integrado. (Ejemplo del Montseny)". *Revista de Geografia*. Vol. 7, Dpto. de Geografía de la U. de Barcelona. 157-165 pp.
- PANAREDA, Josep M. (1984). "La biogeografía y el estudio del paisaje". *I Coloquio de Paisaje y Geosistema. Monografies del'equip 1*. Barcelona, España. 53-68 pp.
- RICHARD, J. F. (1985). "La science du paysage relations, dependances et autonomies". *Revue Géographique de l'Est*. no. 4. 347-354 pp.
- RICHARD, Jean-Francois (1975). "Paysages, écosystèmes, environnement: une approche géographique". *L' Espace Géographique*. Tome IV, no. 2, Paris 81-92 pp.
- ROUGERIE, Gabriel y BEROUTCHACHVILI, Nicolás (1991). *Géosystèmes et paysages. Bilan et méthodes*. Armand Colin, Paris. 302 p.
- SALA, María (1978-79). "Depósitos periglaciares y explotación biológica en el macizo del Montnegre". *Revista de Geografia*. Vol. XVII-XVIII, Barcelona, España. 45-48 pp.
- SALA, María (1983). "Geoecología del paisaje en el macizo litoral catalán". *Revista de Geografia*. Vol. XVI-XVII, Barcelona, España. 23-45 pp.
- SALA, María (1984). "El papel de la geomorfología en los estudios del paisaje". *I Coloquio de Paisaje y Geosistema. Monografies del'equip 1*. Barcelona, España. 69-79 pp.
- SALA, María (1984). "Geomorfología actual: guía conceptual, temática y bibliográfica". *Revista de Geografia*. Vol. XVIII, Barcelona, España. 209-244 pp.
- TRICART, J. (1979). "L' analyse de système et l' étude intégrée du milieu naturel". *Annales de Geographie*. no. 490 París. 705-714 pp.
- TRICART, J. (1973). "La géomorphologie dans les études intégrées d' aménagement du milieu naturel". *Annales de Geographie*. no. 452 París. 421-453 pp.

TRICART, J. (1978). "Le sol dans l' environnement écologique. Soils and ecological environment". *Revue de Geomorphologie Dynamique* No. 4 París. 113-128 pp.

TRICART, J. (1981). *La tierra, planeta viviente*. Akal Editor, Madrid. 171 p.

TRICART, J. y KILIAN, J. (1982). *La eco-geografía y la ordenación del medio natural*. Anagrama, Barcelona. 288 p.

TROLL, C. (1971a). "La Geoecología y la diferenciación a escala planetaria de los ecosistemas de alta montaña" (traducción de J.J. Sanz Donaire), *Geográfica*, 1973, no. 2. Madrid. 143-155 pp.

TROLL, C. (1971b). "Landscape ecology (geoecology) and biogeocenology, Terminological study". *Geoforum*. no. 8 Pergamon Vieweg, Germany. 43-46 pp.

WRIGHT, R. L. (1972). "Principles in a geomorphological approach to land classification". *Zeitschrift fur Geomorphologie* (Nue Folge). Band 16, Heft 4. Berlin. 351-373 pp.



UNIVERSIDAD DE GRANADA